

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET) EN TUBERÍAS HIDRÁULICAS DOMÉSTICAS BAJO DIVERSOS RÉGIMEN DE FLUJO.



AUTORES:

VIVIAN DAYANA LIZCANO RIVAS.

C.C: 1.216.977.520

INGENIERÍA CIVIL.

DORIAN JOSÉ GUERRERO CANTILLO.

C.C: 1.042.979.371

INGENIERÍA CIVIL.

DIRECTORES DE TESIS:

ING. LEYDIS VILLADIEGO ROJAS.

ING. JAVIER ANDRÉS CARPINTERO DURANGO.

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA (UNICOSTA).
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL.
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL.
BARRANQUILLA - ATLÁNTICO.**

2020

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

AGRADECIMIENTOS.

Le agradezco a Dios primeramente por haberme guiado y acompañado a lo largo de mi carrera, porque en mis momentos de debilidad él siempre estuvo y por permitirme aprender todo lo que hoy en día sé, por las experiencias adquiridas hasta hoy y sobre todo por la felicidad.

Le doy gracias a mis padres Jesús Lizcano y Ketty Rivas por apoyarme en todo momento, por haberme inculcado los valores que me han hecho ser la persona que hoy soy, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Y en especial por ser un gran ejemplo de vida y superación. Agradezco a mis hermanos por siempre estar ahí y ser un pilar fundamental para lograr mis propósitos.

Agradezco a una persona muy especial Irina Acosta por ser un gran ser humano de corazón noble, bondadoso y ser un ejemplo para mí, por guiarme, quererme, apoyarme y sobre todo acogerme como una hija más. A mi abuelito José Álvaro que, aunque ya no está físicamente sé que estas orgulloso de mí, a mis abuelitas Dionisia y Visitación por hacer de mí un gran ser humano.

Le agradezco a mi amigo y compañero Dorian Guerrero por la entrega, dedicación y confianza durante todo el proceso de la tesis y la carrera, vivimos momentos alegres que quedaran en mí siempre. A mi amiga Adriana Rodríguez por apoyarme en las buenas y malas, te convertiste en mi familia cuando estaba lejos de todos. ¡A mis amigos que estuvieron en el proceso de principio a fin, decirles GRACIAS! No ha sido fácil las noches que estuvimos en vela, pero sé que al final todo valió la pena.

Agradecer enormemente la confianza que tuvieron el Ing. Javier Carpintero y la Ing. Leidys Villadiego por la confianza, paciencia y dedicación.

Y por último quiero felicitar me porque sin mi esfuerzo y dedicación no hubiese llegado hasta este momento.

Vivian Dayana Lizcano Rivas.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios por permitirme seguir adelante y no desfallecer en el camino, por darme la fortaleza para continuar con mis propósitos, por brindarme la sabiduría y discernimiento para comprender los procesos y caminos que debía tomar para completar este logro. Le doy gracias por brindarme el don de la vida, por presentarme día a día personas que me ayudaban a crecer como persona, espiritual, física y mentalmente fuerte, por los conocimientos y consejos que me brindaban en cada paso que daba.

Le doy gracias a mi madre Vivian Cantillo Domínguez, quien me educó para ser una persona íntegra, transparente y enseñarme a luchar por las cosas que quiero, con esos consejos, cariño y atención de madre que siempre tengo presente, gracias a ello me he convertido en la persona que soy, gracias por ese apoyo que siempre me brindaste para no renunciar a mis metas propuestas.

Agradezco a mis hermanas Melissa Guerrero Cantillo y Dorillen Guerrero Cantillo, que con amor, consejos y humildad me enseñaron sobre la vida, y a estar seguro en cada paso que dé, gracias por enseñarme cada día a ser una mejor persona, son mi ejemplo seguir porque luchan por lo que quieren y gracias por creer en mí y brindarme su apoyo en cada paso que doy. Le doy gracias a mi difunto padre Dorian Guerrero Cantillo que durante sus años en vida me enseñó los caminos que debía seguir, le dedico este triunfo, por creer en mi en cada momento, por brindarme su apoyo, comprensión de padre, y su amor, hasta el último momento, por estar siempre ahí, aunque yo no lo veía, por todas esas palabras y risas que me diste, siendo esa mi fuerza para seguir cada día.

Le doy gracias a mis compañeros, en especial a mi compañera y amiga Vivian Lizcano Rivas, por su paciencia, dedicación y amistad, por todos estos años de preparación profesional. A los ingenieros Leydis Villadiego y Javier Carpintero por su dedicación, compromiso, confianza y apoyo incondicional como tutores y guía profesional para este proyecto de grado.

Le doy gracias a mis amigos, familiares y demás, que me apoyaron durante el transcurso de este logro, que me apoyaron y creyeron en mi en todo momento, en especial el ingeniero Edwin Ortiz que me apoyo con conocimiento, confiando en mis capacidades, dándome apoyo día a día.

Dorian José Guerrero Cantillo

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Resumen

En este documento se presenta una propuesta de grado con el fin de modificar el diagrama de Moody implementando como nuevo uso a los envases de botellas hechas de Tereftalato de Polietileno (PET) para así transformar el material en materia prima convirtiéndolo por medio de procesos necesarios en tuberías de agua potable añadiendo su uso a las redes de distribución domésticas.

Los recipientes de plástico PET son muy utilizados en las zonas de Barranquilla siendo esparcidos en las calles, vertederos y canaletas, creando ambientes contaminados. Este material posee características similares al Policloruro de Vinilo (PVC), por ende se desea llevar a cabo el uso de dicho material de forma reciclada disminuyendo a su vez el impacto ambiental negativo proporcionando un nuevo uso como tubería hidráulica en redes intradomiciliarias, siendo un enfoque positivo para la ingeniería, ya que se estaría implementando nuevas formas de obtener material de construcción, analizando los diferentes factores que se generan dentro de ellas, tales como las pérdidas por fricción bajo diferentes regímenes de flujo, llegando así a la elaboración del Diagrama de Moody para este tipo de material según el comportamiento presentado por el fluido. Dentro de las observaciones del material transformado en tubería se realiza el cálculo del golpe de ariete el cual consistirá en mostrar el comportamiento de dicha tubería a presión.

Palabras Clave: diagrama de Moody, Tereftalato de Polietileno (PET), Policloruro de Vinilo (PVC), hidráulica, tubería, pérdidas, fricción, caudal, rugosidad, Reynolds, ingeniería, intradomiciliarias

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Abstract

In this document a grade proposal is presented in order to modify the diagram of Moody implementing as a new use to bottles made of polyethylene terephthalate (PET) in order to transform the material into raw material by converting it by means of necessary processes into drinking water pipes by adding its use to the domestic distribution networks.

PET plastic containers are widely used in the areas of Barranquilla being scattered in the streets, dumps and gutters, creating contaminated environments. This material has similar characteristics Polyvinyl chloride (PVC), the use of such material in a recycled form is therefore desired while reducing the negative environmental impact by providing a new use as a hydraulic pipe in intrahousehold networks, being a positive approach for engineering, since it would be implementing new ways of obtaining construction materials, analysing the different factors that are generated within them, such as friction losses under different flow regimes, leading to the development of the Moody Diagram for this type of material according to the behavior presented by the fluid. Within the observations of the material transformed into a pipe, the water hammer calculation is carried out, which consists of showing the behavior of said pipe under pressure.

Keywords: Moody diagram, Polyethylene terephthalate (PET), Polyvinyl chloride (PVC), hydraulic, pipe, losses, friction, flow, roughness, Reynolds, engineering, intradomiciliary

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

TABLA DE CONTENIDO:

INTRODUCCIÓN	14
1. FORMULACIÓN.....	16
1.1 Planteamiento del problema	16
1.2 Justificación	16
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo general.....	18
2.2 Objetivos específicos	18
3. METODOLOGÍA	19
3.1 Descripción de la propuesta.....	19
3.2 Alcance de la propuesta	19
3.2.1 Límites	19
3.2.2 Restricciones	20
4. ESTADO DEL ARTE.....	21
4.1 Antecedentes	21
5. MARCO TEÓRICO	27
6. DISEÑO DE LA PROPUESTA	32
6.1 Diseño hidráulico.....	32
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS	46
8. CONCLUSIONES.....	48
ANEXOS	50
BIBLIOGRAFÍA.....	97

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Lista de Tablas y Figuras

Figuras

Figura 1. Diagrama de Moody para diámetro 1 en Tereftalato de Polietileno bajo las condiciones dadas anteriormente	37
Figura 2. Diagrama de Moody para diámetro 2 en Tereftalato de Polietileno bajo las condiciones dadas anteriormente	37
Figura 3. Diagrama de Moody para diámetro 3 en Tereftalato de Polietileno bajo las condiciones dadas anteriormente	37
Figura 4. Diagrama de Moody general en Tereftalato de Polietileno bajo las condiciones dadas anteriormente	37
Figura 5. Diagrama de Moody para diámetro 1 en Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente	41
Figura 6. Diagrama de Moody para diámetro 2 en Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente	41
Figura 7. Diagrama de Moody para diámetro 3 en Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente	41
Figura 8. Diagrama de Moody general en Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente.....	41

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Tablas

Tabla 1. Condiciones de frontera, Tereftalato de Polietileno.....	32
Tabla 2. Área de la sección transversal de cada uno de los diámetros establecidos.	33
Tabla 3. Rango de los valores de velocidad obtenidos en cada diámetro de PET.	33
Tabla 4. Rango de valores de Número de Reynolds en cada diámetro del PET	34
Tabla 5. Rango del factor de fricción calculada en condición de flujo laminar en PET.....	35
Tabla 6. Rango del factor de fricción calculada y supuesta en condición de flujo turbulento en PET.....	36
Tabla 7. Rugosidad relativa de las tuberías del material PET.....	36
Tabla 8. Rango de valores de pérdida de carga generadas por fricción en el PET.	37
Tabla 9. Condiciones de frontera, Policloruro de Vinilo.	38
Tabla 10. Área de la sección transversal de la tubería de PVC.....	38
Tabla 11. Rango de los valores de velocidad obtenidos en cada diámetro de PVC.	38
Tabla 12. Rango de valores de Número de Reynolds en cada diámetro del PVC.	39
Tabla 13. Rango del factor de fricción calculada en condición de flujo laminar en PVC.	39
Tabla 14. Rango del factor de fricción calculada y supuesta en condición de flujo turbulento en PVC.	39
Tabla 15. Rugosidad relativa de cada diámetro del material PVC.	40
Tabla 16. Rango de valores de pérdida de carga generadas por fricción en el PVC.	40
Tabla 17. Diámetros internos de la tubería PET.	42
Tabla 18. Espesores utilizados para cada diámetro de tubería PET.....	42
Tabla 19. Relación de módulos de elasticidad del agua y del material de la tubería.....	43
Tabla 20. Relación entre el módulo de elasticidad del agua y del PET.	43
Tabla 21. Celeridad de la onda de choque en la tubería de PET.....	43
Tabla 22. Sobrepresión generada en la tubería de PET.	44
Tabla 23. Esfuerzos generados en el interior de la tubería PET por sobrepresión.....	45
Tabla 24. Factor de seguridad de la tubería PET.	45

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

LISTA DE ILUSTRACIONES:

Ilustración 1. Diagrama de Moody.....	28
---------------------------------------	----

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)**LISTA DE DIAGRAMAS DE FLUJO:**

Diagrama de flujo 1. Comprobación del valor de fricción en régimen turbulento.35

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

LISTA DE ECUACIONES:

Ecuación 1. Área de la sección transversal de un cilindro.	33
Ecuación 2. Velocidad del fluido con respecto al área.	33
Ecuación 3. Número de Reynolds.	33
Ecuación 4. Ecuación de Colebrook White.	34
Ecuación 5. Condición de iteración.	34
Ecuación 6. Factor de fricción para régimen laminar.	35
Ecuación 7. Rugosidad relativa.	36
Ecuación 8. Pérdidas de carga por fricción.	36
Ecuación 9. Ecuación de Allievi.	44
Ecuación 10. Relación entre el módulo de elasticidad del agua y el material de la tubería.	43
Ecuación 11. Ecuación de Allievi para sobrepresión en cierre rápido.	44
Ecuación 12. Factor de seguridad del material.	44
Ecuación 13. Esfuerzo por sobrepresión en la tubería.	44

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

LISTA DE ANEXOS:

Anexo 1. Diagrama de Moody para Tereftalato de Polietileno y Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente.....	50
Anexo 2. Velocidad del flujo en cada uno de los diámetros establecidos en PET.	50
Anexo 3. Valores obtenidos del Número de Reynolds y Régimen de flujo en PET.....	54
Anexo 4. Factor de fricción del D1 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PET...	58
Anexo 5. Factor de fricción del D2 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PET. .	62
Anexo 6. Factor de fricción del D3 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PET...	66
Anexo 7. Pérdida de carga generadas por fricción en las tuberías de PET.....	69
Anexo 8. Velocidad del flujo en cada uno de los diámetros establecidos en PVC.	73
Anexo 9. Valores obtenidos del Número de Reynolds y régimen de flujo en PVC.	77
Anexo 10. Factor de fricción del D1 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PVC.	81
Anexo 11. Factor de fricción del D2 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PVC.	85
Anexo 12. Factor de fricción del D3 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PVC.	89
Anexo 13. Pérdida de carga generadas por fricción en las tuberías de PVC.	93

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Introducción.

El polietileno tereftalato (PET) es un polímero plástico, con alto grado de cristalinidad y termoplástico en su comportamiento, por tanto, lo hace apto para transformarlo mediante procesos de extrusión, inyección, inyección-soplado y termoformado. El polímero PET puede ser amorfo o semicristalino, es decir, que tiene una gran transparencia, sin embargo, pierde sus propiedades mecánicas como lo es la resistencia a la tracción. El polímero semicristalino tiene unas propiedades de resistencia, dureza, rigidez, se desliza con mayor facilidad, es extremadamente duro, resistente al desgaste, dimensionalmente estable, resistente a los químicos y tiene buenas propiedades dieléctricas.

En diversos medios se ha generado una polémica que trata como principal actor a la segregación de químicos expulsados por los plásticos, generando afectaciones en la salud de las personas. Ana Troncoso, catedrática de Nutrición y Bromatología de la Universidad de Sevilla, en España desmiente esta teoría:

“En términos generales no hay problemas de seguridad para la salud al reutilizar las botellas de plástico”, (Ana Troncoso, BBC 2015).¹

De hecho, en la vida diaria, el ser humano se entra en contacto con esta sustancia de muchas fuentes: El bisfenol A o BPA es una sustancia química muy común relacionada con los envases de policarbonato, que puede usarse no solo para fabricar botellas, sino también para fabricar varias latas termoplásticas moldeables para alimentos y bebidas, recibos y extractos bancarios, CD's, entre otros.

Según Troncoso, la cantidad de sustancia liberada de la botella es tan pequeña que muchas agencias reguladoras de la salud, como la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria o la Administración de Drogas y Alimentos de los Estados Unidos (FDA), no lo categorizan de alto riesgo y pasa desapercibido. Por otro lado, las botellas de plástico flexible fabricadas con Tereftalato de Polietileno, cuya abreviatura en inglés es PET, pueden ser 100% recicladas y no utilizan bisfenol A como aditivo.

Los plásticos siempre han estado presentes en el ámbito de la hidráulica y sanitaria, siendo los más conocidos el Policloruro de Vinilo (PVC) y el Polietileno de Alta Densidad (PEAD), su comportamiento se puede evidenciar en el Diagrama de Moody.

El Diagrama de Moody es una gráfica a escala logarítmica que relaciona la rugosidad, el factor de fricción y el Número de Reynolds presentado en la tubería de los materiales ensayados, básicamente es una fuente de información para determinar el comportamiento de los fluidos dentro de tuberías hidráulicas en dependencia de los materiales establecidos dentro de ellos está el vidrio, concreto, el plástico PVC, acero y demás. Con los valores de fricción se puede determinar las pérdidas de energía por fricción, esto es importante, ya que se puede precisar el desempeño óptimo de las bombas que distribuyen fluidos, como agua,

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

crudo, gasolina, entre otros. Dicho esto, se pretende realizar una modificación al Diagrama de Moody, con un nuevo material plástico (PET), analizar su comportamiento hidráulico y las pérdidas que se generan dentro de la tubería y así determinar si este material es óptimo para trabajar en el transporte de agua. Al momento de modificar el Diagrama de Moody se planea que el plástico PET sea igual o más viable que el PCV en el área hidráulica y sanitaria, generando menor cantidad de pérdidas y mayor rendimiento.

Teniendo en cuenta que la tubería PVC hidráulica se trabaja con una presión nominal entre 60-80 PSI promediada según la NTC-1500, 2017 por ende no se puede realizar una prueba en laboratorio ya que esta es una investigación completamente teórica y abierta a la posibilidad de ser experimentada en otro proyecto, al momento de verificar la presión máxima que la tubería en dichos materiales soporta se calcula mediante el golpe de ariete y así verificar la presión soportada por la tubería en PET.

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

1. Formulación:

1.1 Planteamiento del problema.

Cada día se es más evidente que la contaminación está afectando al planeta, poniendo en riesgo la salud de las personas y generando problemas en el medio ambiente, de acuerdo con un artículo relacionado a la contaminación a nivel mundial presentado por National Geographic España, donde menciona que el 92% de la población mundial vive en lugares en los que se excede el nivel máximo de contaminación atmosférica permitido por la OMS (Organización Mundial de la Salud), es decir, niveles superiores a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cada año la cifra de contaminación por plásticos aumenta, en Colombia se consume un promedio de 1.250.000 Toneladas [9]. Un solo colombiano consume aproximadamente 27 Kilos de este material anualmente de residuos plásticos y en un escenario óptimo solo 162 Kilos son reciclados, es decir, solo el 7%. [8]

La Red Colombiana de Ciudades Cómo Vamos (RCCCV) reveló un artículo dictando por medio de gráficas la cantidad de basura producida por persona al día, quedando Barranquilla en primer lugar con un total de 1.20 Kilogramos. Debido a la producción masiva de materiales contaminantes, las calles, parques, canales y demás sitios se están llenando de basuras, habiendo en mayor cantidad los plásticos (PE, PET, PP y PVC) esto afecta de gran manera debido a que estos desperdicios cuando llueve caen en arroyos y canaletas lo que genera una especie de tapón impidiendo a las escorrentías seguir su curso.

En el actual mundo globalizado, las industrias productoras de botellas plásticas se han posicionado en el mercado por sus bajos costos. La mayor parte de las bebidas en la actualidad son vendidas en botellas plásticas debido a su capacidad de contener los líquidos y por sus propiedades fisicoquímicas y a su resistencia a distintos factores que inciden directamente en sus propiedades. En Colombia se estima que solo en las ciudades de Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla se producen semanalmente unas 88.100 toneladas de basuras y residuos plásticos de las cuales solo es recogido el 70%. [11]

De esta manera se llega a la siguiente incógnita ¿Se puede incorporar un material plástico reciclado para tuberías hidráulicas?

1.2 Justificación.

Este proyecto se realiza con el fin de comprobar si el Tereftalato de Polietileno (PET) es factible al ser utilizado como red de tubería intradomiciliaria o red de tubería doméstica con el fin de reducir la contaminación producida por este plástico siendo este plástico PET comparado con el PVC en el Diagrama de Moody para corroborar el comportamiento de la tubería en plástico PET.

La gráfica que relaciona la fricción en relación con el Número de Reynolds y la rugosidad relativa, conocida como el Diagrama de Moody es una de las más conocidas y utilizadas para conocer el comportamiento de la fricción generada en las tuberías en condiciones turbulentas.

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

En el transcurso de todo el documento se tendrá en cuenta un nuevo material plástico reciclado, este será analizado mediante su proceder en los diámetros establecidos y modificando el diagrama de Moody teniendo en cuenta su comportamiento, siendo comparado con un material con características similares que se encuentre en el mercado hidráulico, esto con el fin de determinar si el material plástico implementado es óptimo para su uso como material para redes de distribución domésticas.

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

2. Objetivos.

2.1 Objetivo General:

Analizar el comportamiento hidráulico del Tereftalato de Polietileno (PET) en tuberías domésticas bajo diversos regímenes de flujo por medio de análisis numérico, para comparar sus resultados con tuberías de PVC bajo las mismas condiciones dimensionales y de flujo.

2.2 Objetivos específicos:

- Proponer un modelo matemático susceptible de resolverse por medio de análisis numérico, para la construcción del Diagrama de Moody de diversos materiales bajo regímenes de flujo
- Implementar el modelo matemático del Diagrama de Moody para tres tipos de diámetros de tubería nominal comerciales y de uso doméstico en materiales PET y PVC para conocer su comportamiento frente al Número de Reynold's y el factor de fricción.
- Comparar el comportamiento hidráulico del PET y PVC por medio del análisis gráfico del factor de fricción, rugosidad relativa y regímenes de flujo.

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

3. Metodología.

3.1 Descripción de la propuesta:

Se plantea incorporar un nuevo componente al Diagrama de Moody, siendo materia prima para la elaboración de una tubería hidráulica, expuesta a diversos regímenes de flujo empleando, así el Tereftalato de Polietileno más conocido como plástico PET, utilizando rugosidades absolutas del material tomadas de diversos autores.

Realizando una comparativa en su comportamiento con un material comúnmente utilizado en el ámbito de hidráulica y sanitaria, el Policloruro de Vinilo, comúnmente conocido como PVC, demostrando las similitudes y/o diferencias entre estos materiales empleados para el transporte de agua potable en redes domésticas.

El Diagrama de Moody se elaborará a través de datos teóricos obtenidos a base de artículos y en el transcurso del documento. Para obtener la gráfica del plástico PET y del PVC se utilizarán distintas ecuaciones, estas serán resueltas por medio del programa informático EXCEL para así lograr el objetivo del proyecto. Utilizando ecuaciones y factores conocidos como la de Ecuación Colebrook White para factor de fricción, la Rugosidad Absoluta del material en cuestión, y diversos factores encontrados en el transcurso de este documento, para así determinar el comportamiento del PET bajo diferentes regímenes de flujo, de esta manera graficar las curvas del Diagrama de Moody y lograr realizar la comparación del comportamiento de ambos materiales.

3.2 Alcance de la propuesta.

Se decide plantear un proyecto de implementación de material plástico PET reciclado como tubería para sistemas hidráulicos, con el fin de encontrarle una nueva utilidad a este material y con ello reducir los índices o cifras de contaminación por este tipo de residuos en la ciudad de Barranquilla. Creando una modificación al Diagrama de Moody para así lograr observar cual será el comportamiento hidráulico de la tubería con el material reciclado.

3.2.1 Límites:

- La falta de datos (o datos confiables) puede limitar el alcance del análisis, el tamaño de la muestra o convertirse en un obstáculo importante para descubrir tendencias, generalizaciones o correlaciones importantes, en este caso la Rugosidad del plástico PET.
- Falta de investigación previa sobre el tema: citar y criticar investigaciones previas constituye la base de la revisión bibliográfica y es la base para comprender la pregunta de investigación

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

3.2.2 Restricciones:

- El proyecto debe cumplir con los plazos de entrega acordados.
- No contar tiempo suficiente con servicios de Internet o servicios eléctricos.
- Falta de comunicación de los interesados del proyecto.

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

4. Estado Del Arte.

4.1 Antecedentes:

El plástico PET se ha utilizado a lo largo del tiempo en la construcción, en este artículo, los autores presentan una aplicación innovadora para el tereftalato de polietileno (PET) que se obtiene a partir de residuos de botellas plásticas, como aditivo al Curso de Desgaste de Concreto Asfáltico (AC-WC), un tipo de mezcla de asfalto en caliente (HMA). La muestra de AC-WC que contenía el PET se midió utilizando el método húmedo para determinar los parámetros Marshall de las muestras. El tipo de betún utilizado como muestra es el asfalto, que tiene un valor de penetración de 60/70. Se encontró que el contenido óptimo de asfalto (OAC) obtenido del estudio preliminar fue del 5,7% del peso total del asfalto. Los resultados muestran que la resistencia de la mezcla AC-WC mejora cuando se utilizan residuos de botellas de plástico, lo que puede correlacionarse con un aumento de la estabilidad. Este hallazgo muestra que los desechos de botellas de plástico y otros materiales locales tienen un uso alternativo como material de pavimento de carreteras. (Machsus M, 2021). Por otro lado, la Técnica innovadora de uso de tiras de polímero reforzado con fibra de carbono para el refuerzo a cortante de vigas de hormigón armado con fibras plásticas de desecho; la extensa producción de tereftalato de polietileno (PET) en industrias de todo el mundo y la descomposición a largo plazo de este tipo de plástico en la naturaleza han motivado a los investigadores a estudiar métodos para reciclar PET. Mientras tanto, otro problema grave es la falla repentina por cortante de las vigas de hormigón armado convencionalmente debido a la corrosión. Este problema requiere encontrar nuevas alternativas, como el uso de materiales de polímero reforzado con fibra (FRP) para garantizar la durabilidad de las vigas. Para abordar ambas preocupaciones, este estudio tiene como objetivo mejorar la resistencia al cortante de las vigas de hormigón armado aplicando el concepto de sostenibilidad. El método propuesto mejorará la durabilidad de los miembros de hormigón. Se agregaron fibras plásticas de desecho con porcentajes volumétricos iguales a 0.25%, 0.5%, 0.75%, 1%, 1.25% y 1.5% para producir 14 vigas de concreto reforzado. Estas vigas fueron diseñadas para fallar en cortante. Se aplicó refuerzo de cortante convencional a siete vigas, mientras que las vigas restantes se reforzaron con tiras de FRP de carbono (CFRP). Los resultados indicaron que la resistencia al corte aumentó en 11.45% y 8,45% para las vigas reforzadas con tiras de CFRP y estribos de acero, respectivamente, al 1% de contenido de fibra. Asimismo, la ductilidad a cortante aumentó en un 8,61% y un 9,96% para las vigas reforzadas con tiras de CFRP y estribos de acero, respectivamente, con un aumento de hasta el 1,25% en el contenido de fibra. (Al-Hadithi, AI, 2021). También contamos con la Optimización del diseño y modelado estadístico de lechada cementosa que contiene desechos plásticos irradiados y humo de sílice utilizando la metodología de superficie de respuesta, este estudio analiza la influencia de la sustitución del cemento Portland ordinario (OPC) por tereftalato de polietileno (PET) de desecho irradiado y humo de sílice sobre las propiedades frescas y endurecidas de las lechadas cementosas. El efecto del PET (normal e irradiado) y humo de sílice (SF) en flujo, retracción por secado, resistencia a la compresión (1 día, 7 días y 28 días) y resistencia a la flexión (28 días) de lechadas cementosas. Además, se utilizó una metodología de superficie

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

de respuesta de herramienta analítica (RSM) para diseñar el experimento y analizar estadísticamente los resultados experimentales. Se realizó una investigación microestructural en la muestra de lechada usando FESEM con análisis EDX y XRD. Los resultados experimentales muestran que se observó una pérdida de resistencia tanto a la compresión como a la flexión cuando el OPC se reemplazó parcialmente por el PET normal; sin embargo, algunas de estas resistencias se recuperaron incorporando PET irradiado. Se observó una ligera reducción en la contracción por secado con la adición de PET normal y PET irradiado en comparación con las muestras de control. Los resultados de la investigación microestructural también muestran que la adición de PET irradiado en la lechada de cemento provoca la formación de fases nuevas y únicas, que ayudan en la densificación y refinamiento de la microestructura. Los resultados teóricos del modelo ANOVA utilizando análisis RSM fueron validados experimentalmente con un error de <5%, por lo que se observó una buena concordancia entre los resultados teóricos y experimentales. La irradiación gamma de PET mostró la posibilidad de utilizar residuos plásticos como fuente potencial de materia prima para la industria de la construcción. (C) 2020 Elsevier Ltd. Todos los derechos reservados. (Khan, MI, 2021). Las Tendencias recientes en la utilización de compuestos de desechos plásticos como materiales de construcción; el rápido crecimiento de la industria de la construcción y los problemas ambientales resultantes debido a una gestión inadecuada de los residuos conduce a la formación de nuevos materiales de construcción a partir de los residuos y sus residuos. Este documento es una revisión de diferentes enfoques de investigación que emplean materiales de desecho mezclados con rellenos como materiales de construcción. Se detalla un análisis refinado de materiales de construcción derivados de desechos plásticos en concreto junto con arena, arcilla, aserrín, cáscara de arroz y otros rellenos. Se discuten los diferentes procesos involucrados en el desarrollo de materiales junto con su comportamiento mecánico. También se explica en detalle la aplicación de diferentes agentes de acoplamiento junto con los residuos plásticos y los rellenos que indican sus futuras aplicaciones como material viable en la industria de la construcción. (Mini, KM, 2021).

Hay una Investigación del agregado de PET de desecho modificado bacteriano VIA *Bacillus safensis* para mejorar las propiedades de resistencia de los morteros y en este estudio, el potencial del uso de plásticos de desecho hechos de tereftalato de polietileno (PET) tratado con bacterias como agregado en la producción de mortero. Primero, las cepas bacterianas, que secretaban esterasa o cutinasa, fueron examinadas por su capacidad para adherirse a superficies hidrófobas y formación de biopelículas. TH401, que mostró potencial para la modificación de los agregados de PET, se identificó como *Bacillus safensis*. Para mejorar la compatibilidad del PET, los agregados de residuos de PET se trataron con fermentación sumergida a través de *B. safensis* TH401. Los análisis FTIR realizados después del tratamiento mostraron que la estructura química del PET había sido modificada. Las muestras de mortero se prepararon utilizando el PET modificado agregados. Los resultados de la prueba mostraron que la modificación bacteriana contribuyó al aumento de la resistencia del hormigón agregado de PET de desecho. Se puede decir que los morteros producidos con

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

agregados de PET modificados con bacterias se pueden utilizar como una alternativa de material económica y ecológica en la industria de la construcción. (Akcaozoglu, S, 2021).

Benosman, AS, 2021. Realizó un estudio acerca de la Utilización y evaluación de bandas de flejado de tereftalato de polietileno reciclado como agregados livianos en morteros compuestos ecoeficientes. En este trabajo, exploramos la posibilidad de utilizar agregados de flejes triturados de polietileno tereftalato (SPETSB) en mortero. Se realizó un relevamiento para evaluar la viabilidad de reciclar este residuo plástico para su uso en la fabricación de morteros ligeros ecológicos mediante la sustitución parcial de arena sílice-calcárea por áridos SPETSB más ligeros, por volumen a 0, 15, 30, 45 y 60%. Se realizó un análisis de microscopía electrónica de barrido junto con un estudio de la reacción álcali-sílice; Se evaluaron las propiedades de densidad, mecánicas y térmicas para evaluar las propiedades del mortero ligero que contiene agregados SPETSB (LWMSB).

Russo, F, 2021. Estuvo Investigando las propiedades reológicas de masillas bituminosas calientes elaboradas utilizando materiales de desecho plásticos como relleno. Este estudio investiga las propiedades volumétricas y mecánicas de masillas bituminosas calientes elaboradas utilizando materiales de desecho plásticos (PW) como relleno. También tenemos las características de resistencia y resistencia de la mezcla ac-wc que contiene residuos plásticos de pet y pp bajo compresión estática. Este artículo analiza el tereftalato de polietileno (PET) y residuos plásticos de polipropileno (PP) como aditivo para la modificación de la mezcla asfalto-hormigón. La muestra se elaboró utilizando un molde cilíndrico de 10 cm de altura y 10 cm de diámetro. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión del tratamiento AC-WC fue mayor que sin tratamiento. Además, el PET y el PP se pueden mezclar con un MBA como un mejor aglutinante y dar como resultado una mayor resistencia. El parámetro de elasticidad importante del análisis de pavimento es el índice de Poisson, donde los resultados de la prueba muestran que el módulo de elasticidad y el índice de Poisson siguen el estándar, es decir, el 80% de la carga máxima. (Irianto, 2021). Por otro lado, Los agregados compuestos ligeros a base de PET en materiales de cemento Portland: rendimiento microestructura y fisicoquímico. En este artículo se presentan resultados de ensayos de morteros de cemento, en los que los Agregados Compuestos Ligeros (CLA) obtenidos en condiciones de laboratorio sustituyen a una parte de los agregados naturales. Los nuevos áridos son productos sostenibles obtenidos mediante el 100% de subproductos residuales: escamas de PET y corrientes de cenizas volantes de lodos de depuradora (ssFA) o cenizas volantes silíceas (FA). En caso de agregado CLA a base de PETy FA, no se observaron síntomas de despolimerización del tereftalato de polietileno en presencia de álcali de la pasta de cemento. En el caso de propiedades mecánicas modeladas con composite CLA, se ha observado un aumento en la resistencia a la compresión o flexión debido a la posibilidad de disminuir la relación a/c en mezclas de CLA sin pérdida de trabajabilidad. Reemplazar solo una pequeña parte del agregado natural con agregado CLA permite un doble aspecto ecológico: ahorro de recursos naturales y manejo completo de residuos plásticos y minerales problemáticos. Los compuestos de cemento con agregados

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

compuestos ligeros pueden ser una ecosolución para una serie de aplicaciones para la ingeniería de edificios, como el hormigón ordinario, el hormigón prefabricado pequeño o el hormigón modular. (Gorak, P, 2021).

Se realiza un estudio sobre Reducir la susceptibilidad al daño por humedad en pavimentos asfálticos utilizando tereftalato de polietileno y arcilla montmorillonita de sodio en el cual se examina la viabilidad de desarrollar una resistencia incorporada contra el daño por humedad utilizando un mecanismo de pasivación o de detención. Para este estudio se seleccionó una mezcla de pavimento específica susceptible a la humedad con problemas comprobados de daños por humedad en el campo. El daño se atribuyó a fallas en la interfaz de betún y agregado de piedra debido a la acumulación de compuestos ácidos en la interfaz con la posterior disolución en presencia de agua. Para la mezcla modificada con PET, no se observó inflexión de desprendimiento hasta 20.000 ciclos. También se observó que la adsorción por MMT de compuestos ácidos del betún provocó la aparición de abolladuras en la superficie después del acondicionamiento del agua. La muestra modificada con PET mostró algunos signos de cambio de color después de la exposición al agua, sin ningún signo de desprendimiento. Los resultados del estudio ayudan a los formuladores a diseñar materiales con mecanismos de resistencia incorporados contra el daño por humedad. (Fini, EH, 2021). Asimismo, las Propiedades mecánicas del hormigón engomado autocompactante (SCRC) que contiene fibras de tereftalato de polietileno (PET), en este estudio se centra en el desarrollo y la evaluación de una mezcla más ecológica y sostenible de hormigón engomado autocompactante (SCRC) que utiliza materiales de desecho comúnmente disponibles como cenizas volantes, neumáticos gastados y botellas para beber de tereftalato de polietileno (PET) como fibras. Se investigaron diez mezclas que contenían caucho triturado de neumáticos y fibras de PET bajo compresión, tensión dividida y flexión. Los resultados indicaron que el reemplazo del 15% de la masa de agregados finos con caucho de llantas molido es óptimo sin afectar las resistencias del concreto. Las fibras de PET jugaron un papel en la estabilización y mejora de la respuesta post-pico en la compresión y flexión. En general, el uso de caucho triturado para neumáticos como agregados finos y fibras de PET como refuerzo en el concreto mejoró la respuesta del concreto en compresión y flexión. (Ayub, T, 2021)

La Investigación experimental del comportamiento de suelos reforzados con residuos de botellas de plástico bajo cargas cíclicas. Como una nueva opción beneficiosa, la forma celular de las botellas postconsumo podría actuar para proporcionar un confinamiento suficiente para el suelo de relleno y, por lo tanto, proporcionar una técnica mediante la cual se podría mejorar el comportamiento de los lechos de cimentación bajo cargas aplicadas. En este estudio, se llevaron a cabo una serie de pruebas a gran escala en PET no reforzado y (Tereftalato de polietileno plástico) camas reforzadas con botella. Para cada ensayo se aplicaron al pavimento 100 ciclos de carga de 400 kPa seguidos de 400 ciclos de carga de 800 kPa al pavimento a través de la placa de carga. Los experimentos se realizaron en un pozo de prueba de 2200 x 2200 x 1000 mm sobre una placa de carga circular de 300 mm de diámetro. Tres

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

tamaños diferentes (es decir, diferentes diámetros externos y alturas) de residuos plásticos (PET) se probaron botellas llenas de tierra como elemento de refuerzo. El uso combinado de botellas y una sola capa de geomalla elimina la necesidad del uso de refuerzo geosintético multicapa, ayuda a la economía del proyecto además de evitar el alto costo de eliminación de botellas de desechos. (Tafreshi, SNM, 2021) y por otro lado se realiza la Evaluación de las propiedades de resistencia al cizallamiento del plástico PET no unido en mezclas con desechos de demolición. Este estudio de investigación evaluó los parámetros geotécnicos clave de dos tipos de materiales de C&D, a saber, agregado de hormigón reciclado (RCA) y ladrillo triturado (CB) en mezclas con escamas de PET trituradas al 5% (en masa). Las mezclas se sometieron a ensayo de cizallamiento directo (DST) y ensayos triaxiales de drenaje consolidado (CD), con el fin de evaluar las propiedades de resistencia al cizallamiento. Los resultados de las pruebas triaxiales DST y CD indicaron que la adición de PET al 5% puede mejorar los ángulos de fricción y los valores de cohesión aparente de los materiales de control RCA y CB. Con base en las características de resistencia al corte, se determinó que las mezclas de 5% PET + 95% C & D tienen el potencial de ser utilizadas en aplicaciones de base / subbase de pavimento, sustituyendo los agregados de cantera vírgenes. (Horpibulsuk, S, 2020). Observar el Comportamiento a la fractura del hormigón que contiene llantas de desecho y tereftalato de polietileno de desecho: un diseño de fractura sostenible. Este artículo ilustra los resultados de una investigación experimental sobre las características de fractura y la ductilidad del concreto normal (NC) y el concreto cauchutado (RC), que involucró las pruebas de 128 probetas de flexión de tres puntos con diferentes volúmenes de agregado de polietileno tereftalato (PET). Generalmente, los parámetros se analizaron mediante el método de efecto de tamaño (SEM) y el método de efecto de contorno (BEM). Los resultados mostraron que con el aumento del volumen de agregado de PET de 0% a 15%, (a) en un enfoque sostenible, la energía de fractura aumenta debido al cambio en las dimensiones fractales, (b) el comportamiento de las muestras de concreto se acerca al criterio de resistencia, (c) la medición de la zona del proceso de fractura, C_f , en SEM y a (infinito) * en BEM, que se considera un índice de fragilidad, aumenta, (d) el número de fragilidad disminuye en 35.2 y 22.5% para NC y RC, respectivamente. Además, se desarrolla una relación adecuada con buena precisión para la energía de fractura de NC y RC a diferentes volúmenes de agregado de PET, lo que puede ser un paso efectivo hacia el desarrollo de disposiciones de diseño para miembros sostenibles de NC y RC. (Nikbin, IM, 2020). En el 2020 se realiza una investigación acerca de la Incorporación de residuos de PET en morteros de revoque a base de cemento Portland / cal hidratada. El objetivo de esta fue evaluar morteros de revocado a base de cemento Portland / cal hidratada producidos con residuos de botellas de PET, utilizados para sustituir parcialmente el 2,5%, 5%, 10%, 15% y 20% (en volumen) de la fina. agregado para investigar la eficacia y la mejora de estos materiales. El programa experimental se realizó en estado fresco y endurecido, para determinar fluidez, densidad fresca y endurecida, contenido de aire, porosidad aparente, absorción de agua por inmersión, retención de agua, absorción de agua por capilaridad, secado, permeabilidad al vapor de agua, velocidad de onda ultrasónica, y módulo de elasticidad dinámico. Además, se realizó microscopía electrónica de barrido (SEM).

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

En general, los resultados mostraron que la incorporación de PET cambió significativamente algunas propiedades, como se verificó mediante análisis estadístico. Los resultados notables de la incorporación de PET en morteros de revoque a base de cemento Portland / cal hidratada son: cerca del 90% de similitud de retención de agua entre las mezclas, absorción de agua por capilaridad de M-2.5 a $1.89 \text{ kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$, secado del espécimen M-15 a $5.85 \text{ kg} / \text{m}^2$, permeabilidad al vapor de agua del M-20 a $41.15 \text{ (ng} / (\text{msPa}))$ y módulo de elasticidad dinámico de M- 2,5 a 3.57 GPa . Estos reemplazos mostraron la posibilidad de mitigar los impactos ambientales que puede tener el ciclo de vida de la botella de PET y la extracción del agregado fino. (Sposito, FA, 2020).

Teniendo en cuenta todos los antecedentes de investigaciones, estudios, etc, nos damos cuenta que la implementación del PET es muy variable siendo esta utilizada en procesos constructivos aún no se ha implementado como usos de tuberías hidráulicas sometidas a presión y a lo largo de esta investigación se están desarrollando cálculos para demostrar el comportamiento y la resistencia de dicho material en tuberías de presión en uso doméstico.

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

5. Marco Teórico.

Tereftalato de polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno (más conocido como PET) es uno de los materiales plásticos más utilizados, especialmente para la fabricación de envases.

Por su composición química, el tereftalato de polietileno o PET es un tipo de poliéster. Se obtiene mediante la policondensación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol.

Una vez obtenido el material, puede procesarse de diferentes maneras para obtener productos derivados: mediante inyección, extrusión, termoconformado, inyección y soplado, soplado de preforma, etc. Si se busca la transparencia del material, este debe ser enfriado rápidamente después de ser tratado.

Las características del PET lo hacen un material muy adecuado para la fabricación de envases (especialmente botellas y frascos), piezas o incluso textiles. (Envaselia. S.L (2018)

Policloruro de vinilo (PVC)

PVC es Cloruro de Polivinilo. Este es un plástico que tiene la siguiente fórmula química: $\text{CH}_2=\text{CHCl}$

El plástico cubre un amplio rango de productos sintéticos y semisintéticos de polimerización (ej. moléculas "orgánicas" de carbono de cadena larga) cuyo nombre se refiere al hecho de que en su estado semilíquido son maleables, o tienen la propiedad del plástico.

El PVC es comúnmente utilizado en el sector de la construcción, por ejemplo, en marcos de ventanas y persianas, cableado y revestimiento de tuberías, etc. El Vinilo también es usado en discos de gramófono, razón por la que usamos el término "discos de vinilo" para referirnos a estos. El PVC puede ser usado en toneladas de otras aplicaciones del mercado industrial y extensamente en el sector del cuidado de la salud, hasta partes de carros, fabricación de juguetes, embalaje de alimentos, ropa de lluvia, etc. (Esto es descrito más abajo).

El PVC puede ser claro o de colores, rígido o flexible, dependiendo de los componentes adicionados y la aplicación final que se necesite alcanzar; por ejemplo, existen diferentes calidades de PVC como costa o película soplada, alto impacto, grado de alambre y cable, termoformado, moldeado por inyección, moldeado rotacional, etc. (Lenntech B.V. 1998-2021).

Diagrama de Moody

El gráfico de Moody consta de una serie de curvas dibujadas en papel logarítmico, que se utilizan para calcular el coeficiente de fricción que existe en el flujo turbulento a través de una tubería circular. Usando el coeficiente de fricción f , se puede evaluar la pérdida de energía por fricción, que es un valor importante para determinar el desempeño adecuado de las bombas que dispensan fluidos (como agua, gasolina, petróleo crudo, etc.).

Para comprender la energía en el flujo de un fluido, es necesario comprender las ganancias y pérdidas causadas por factores como la velocidad, la altura, la presencia de equipos (bombas y motores), la influencia de la viscosidad del fluido y la fricción entre fluidos y paredes de tubería. El diagrama de Moody es útil para encontrar el factor de fricción f contenido en la ecuación de Darcy, porque no es fácil expresar f directamente con otros valores en la

ANÁLISIS DEL TEREFALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

ecuación de Colebrook. Su uso simplifica la adquisición de f al incluir la representación gráfica de f en función de Re con diferente rugosidad relativa en una escala logarítmica. (Lifeder, 2021)

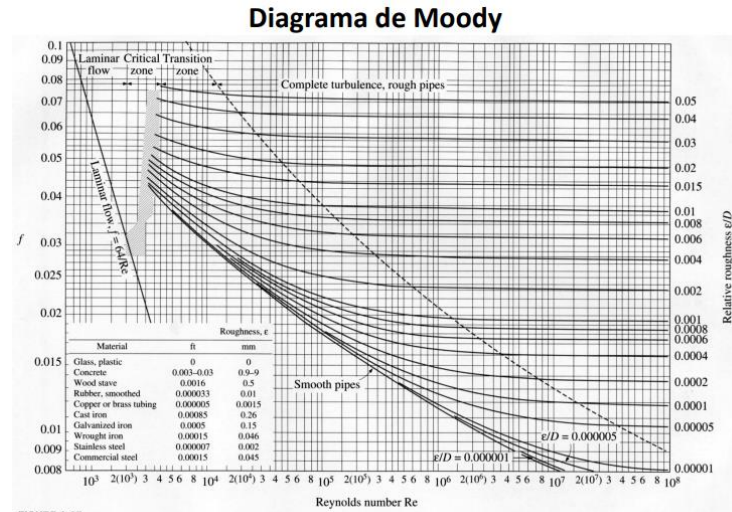


FIGURE A-27
The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Figura 1: Diagrama de Moody Fuente: Mecánica de Fluidos, Robert L. Mott. ⁶

Ecuación Colebrook-White

Para flujo turbulento, la ecuación aceptada en tubos de cobre y vidrio es Cyril Colebrook (1910-1997), pero su desventaja es que f no es clara:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right)$$

En esta ecuación, la relación ε/D es la rugosidad relativa de la tubería y Re es el número de Reynolds. Una observación detallada muestra que no es fácil dejar f en el lado izquierdo de la ecuación, por lo que, no es adecuado para el cálculo inmediato. (Guerreo O, 1995)

Factor de Fricción (f) y Número de Reynolds (Re)

Número de Reynolds, un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte. Es una expresión adimensional relacionada con la densidad, viscosidad, velocidad y tamaño típico del flujo, interviniendo así muchos problemas en la dinámica de fluidos. Para calcular f , se pueden utilizar ecuaciones empíricas obtenidas a partir de datos experimentales. Es necesario distinguir si se trata de un fluido laminar o turbulento. Para el estado de flujo laminar f , es fácil evaluar:

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

$$f_{laminar} = \frac{64}{Re}$$

Re es el Número de Reynolds y su valor depende de la velocidad y la viscosidad del fluido, además del diámetro de la tubería, dando así las condiciones de flujo:

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$\begin{aligned} & \text{"}Re \leq 2300 \text{"Flujo laminar"} \\ & 2300 < Re < 4000 \text{"Flujo transicional"} \\ & 4000 < Re \text{"Flujo turbulento"} \end{aligned}$$

Fuente: Mecánica de fluidos, Yunus Cengel.

Su uso cobra importancia para comprender el tipo de flujo de manera cuantitativa, lo que lleva a comprender la estructura interna del estado del fluido en movimiento para poder estudiarlo en detalle de manera cuantitativa. Este análisis es importante en situaciones en las que el fluido debe transportarse de un lugar a otro. Para determinar la demanda de bombeo en el sistema de abastecimiento de agua se debe calcular la caída de presión causada por el rozamiento en la tubería, que en estudios similares también se utiliza para determinar el caudal reciente a través de la tubería o ducto. A través de la red de oleoductos. Osborne Reynolds informó por primera vez en 1883 los diferentes patrones de flujo y la asignación de valores a cada valor. El diámetro de la tubería y determinadas propiedades físicas del fluido. Barr D. (1980).

Pérdida de carga (h_f)

La ecuación de Darcy-Weisbach es una ecuación ampliamente usada en hidráulica. Permite el cálculo de la pérdida de carga debida a la fricción dentro una tubería llena. La ecuación fue inicialmente una variante de la ecuación de Prony, desarrollada por el francés Henry Darcy. En 1845 fue refinada por Julius Weisbach, de Sajonia.

Esta fórmula permite la evaluación apropiada del efecto de cada uno de los factores que inciden en la pérdida de energía en una tubería. Es una de las pocas expresiones que agrupan estos factores. La ventaja de esta fórmula es que puede aplicarse a todos los tipos de flujo hidráulico (laminar, transicional y turbulento), debiendo el coeficiente de fricción tomar los valores adecuados, según corresponda.

La forma general de la ecuación de Darcy-Weisbach es:

$$hf(m) = f * \frac{L}{d} * \frac{v^2}{2g}$$

Donde:

- hf : Pérdida de carga debido al rozamiento (m)
- f : Factor de fricción de Darcy
- L : Longitud de la tubería (m)

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

- d: Diámetro interior (m)
- V: Velocidad media del agua en la tubería (m/s)
- g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s^2)

Çengel-Cimbala. (2004)

Viscosidad

La viscosidad se refiere a la resistencia de ciertos líquidos durante el flujo y la deformación. Por tanto, la viscosidad es una de las principales características de un líquido, y su determinación es la siguiente: cuanto mayor es la resistencia del líquido a fluir y deformarse, mayor es su viscosidad. La viscosidad será mayor o menor dependiendo de la resistencia que se genere cuando las moléculas o partículas que constituyen el líquido se separan o deforman. Cuanto mayor sea la adherencia de las moléculas, mayor será la viscosidad. (Significados, 2013-2021)

Viscosidad cinemática (μ)

La viscosidad cinemática relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del líquido. La viscosidad es la resistencia al deslizamiento del fluido y la densidad es la gravedad específica (masa / volumen) dividida por la gravedad. Por ejemplo, el aceite de motor viscoso se deslizará lentamente por la tubería, pero debido a que flota en la tubería, aún no es tan denso como el agua. En este caso, la viscosidad del agua es menor, pero más espesa que la del aceite. Para calcular la viscosidad cinemática, se utilizan unidades específicas en el sistema decimal Stoke (St) (CGS). Es importante considerar que tanto la viscosidad dinámica como la viscosidad cinemática dependen de la naturaleza y temperatura del líquido, por ejemplo, cuanto mayor es la temperatura del líquido, menor es la viscosidad, porque la cohesión de las moléculas se hace más grande y débil. (Significados, 2013-2021)

Viscosidad dinámica (ν)

La viscosidad dinámica, también llamada viscosidad absoluta, es la resistencia interna entre las moléculas de fluido en movimiento, que determina la fuerza que hace que el fluido se mueva y se deforme. Isaac Newton (1643-1727) observó este comportamiento al colocar el líquido entre dos placas paralelas. La placa inferior estática y la placa superior se mueven a una velocidad constante de 1 cm por segundo. El líquido se desliza en forma de capas o láminas, lo que significa que la velocidad del líquido en la superficie de contacto es cero y aumenta con el aumento de la distancia, generando así una línea tangente (llamada fuerza tangencial). Para el cálculo de la viscosidad dinámica, se utiliza una unidad específica para el balance (P) del sistema de unidades Cegesimal (CGS). (Significados, 2013-2021).

Golpe de ariete

Se denomina “golpe de ariete” el efecto de choque violento o sobrepresión súbita producido sobre las paredes del conducto forzado, al modificarse de manera instantánea el movimiento del fluido, como puede ocurrir en el caso del cierre repentino de una válvula. (López cualla, 1996).

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

6. DISEÑO DE LA PROPUESTA.

6.1 Diseño hidráulico.

En primera instancia, debemos abordar que se trabaja una tubería con un material plástico (PET específicamente), con tres (3) diámetros diferentes (1", 1/2" y 3/4"), para identificar el comportamiento que tiene en cada uno de estos, comparándolo con un material plástico ya existente (PVC) en sus mismos diámetros. Teniendo en cuenta esto en cuenta, se procede a explicar detalladamente el proceso realizado.

- **Datos básicos:** Estos datos en su mayoría fueron investigados exhaustivamente, ya que no se encontraba mucha información acerca de plástico PET.

Tabla 1:

Condiciones de frontera, tereftalato de polietileno.

DATOS BÁSICOS		
ε	0,00000368	m
g	9,81	m/s ²
v	0,000000803	m ² /s
D_1	0,0254	m
D_2	0,0127	m
D_3	0,01905	m
L	1,5	m

Fuente: Autor.

La rugosidad absoluta se obtuvo de un artículo sobre la modificación del PET por medio de descargas dieléctricas a presión atmosférica⁴, la longitud equivalente fue asumida a criterio propio y los diámetros establecidos son los que usualmente se utilizan en redes de distribución domésticas. Habiendo conocido el origen de los datos básicos, se procede a conocer el proceso para conocer cada uno de los parámetros hidráulicos, el Caudal (Q), se plantea utilizar un rango en que se pueda observar cada uno de los estados de flujo (laminar, transicional y turbulento) y analizar su comportamiento a través de este. Los caudales establecidos varían en un rango de $(0,00001 < Q < 0,0015)m^3/s$ en tres diámetros domésticos escogidos 1", 1/2" y 3/4", el motivo por el cual se escogió este rango de valores de caudal es por un estudio realizado por EPM (Empresas Públicas de Medellín) "Criterios para definir el diámetro de la acometida y el medidor para urbanizaciones y edificios"¹³, teniendo en cuenta diversos aparatos sanitarios comúnmente utilizados en una vivienda, estos valores van en un rango de $(0,00025 < Q < 0,08107)m^3/s$, teniendo en cuenta que el diámetro de 3/4" no se encuentra en el margen de referencia del documento se escogen valores por debajo del establecido en el artículo.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

El valor del Área de la sección transversal de la tubería (A_c) fue determinado mediante la **ecuación 1**:

$$A_c = \frac{\pi}{4} D^2 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Reemplazando cada uno de los diámetros escogidos y mencionados anteriormente. Este valor es constante a través de toda la longitud de la tubería, puesto que no se encuentran reducciones y/o expansiones a lo largo de la misma.

Tabla 2:

Área de la sección transversal de cada uno de los diámetros establecidos.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Área transversal (A_{c1}) m^2	Área transversal (A_{c2}) m^2	Área transversal (A_{c3}) m^2
0,000506707	0,000126677	0,000285

Fuente: Autor.

Luego el parámetro de Velocidad (V) fue hallado despejando la ecuación de caudal, dando paso a la **ecuación 2**:

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 2.}$$

Esto se realizó con cada valor de caudal supuesto, y por ende a cada valor de diámetro, estos valores de velocidad se encuentran en un rango de:

Tabla 3:

Rango de los valores de velocidad obtenidos en cada diámetro de PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Velocidad (V_1) m/s	Velocidad (V_2) m/s	Velocidad (V_3) m/s
$0,0197 \leq V_1 \leq 2,960$	$0,0789 \leq V_2 \leq 11,841$	$0,0350 \leq V_3 \leq 5,262$

Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos pueden verse de manera más completa en Anexo 2.

El Número de Reynolds (Re) fue registrado con su ecuación original, teniendo en cuenta los valores que se poseían, viscosidad cinemática, velocidad y diámetro:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \text{Ecuación 3.}$$

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Se tomó en consideración que la tubería funcionaría en red doméstica, por lo que la temperatura que se considerará dentro de la misma será un par de grados menos a la temperatura ambiente que se maneja en el lugar de estudio (Barranquilla), ya que la temperatura que se maneja en esta ciudad es no mayor a 32°C , se decide tomar como referencia una temperatura de aproximadamente 30°C , dando así, una viscosidad cinemática de de $8.03 \times 10^{-7} \text{Kg/m}^3$. Teniendo en cuenta los respectivos valores de velocidad y diámetros, dio vía libre a la determinación del flujo dentro de la tubería en cada uno de los diámetros, esto se logró teniendo en cuenta las especificaciones establecidas y descritas en el libro Mecánica de Fluidos de Yunus Cengel:

$$\begin{aligned} & \text{"Re} \leq 2300 \text{ "Flujo laminar"} \\ & 2300 < \text{Re} < 4000 \text{ "Flujo transicional"} \\ & 4000 < \text{Re} \text{ "Flujo turbulento"} \end{aligned} \quad ^5$$

Los resultados obtenidos en se encuentran en el siguiente rango:

Tabla 4:

Rango de valores de Número de Reynolds en cada diámetro del PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Número de Reynolds (Re)	Número de Reynolds (Re)	Número de Reynolds (Re)
$624 \leq Re \leq 93638$	$1249 \leq Re \leq 187276$	$832 \leq Re \leq 124851$

Fuente: Autor.

En el anexo 3, se observan los resultados del estado de flujo para cada uno de los valores.

Para calcular el valor de Fricción (f) se utilizó la ecuación de Colebrook White para flujo turbulento, tomada del libro de Mecánica de fluidos de Robert L. Mott:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$$

Esta ecuación permite despejarse, de modo que se pueda utilizar el método de iteración para poder determinar el valor de fricción real que se genera e la tubería, quedando de la siguiente manera:

$$f_{calculada} = \frac{1}{4 \left[\log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \right]^2} \quad \text{Ecuación 4.}$$

Esta ecuación se resuelve a través de un proceso iterativo. Es decir, con un valor asumido para el factor de fricción, se calcula y el resultado será comprobado mediante la siguiente condición:

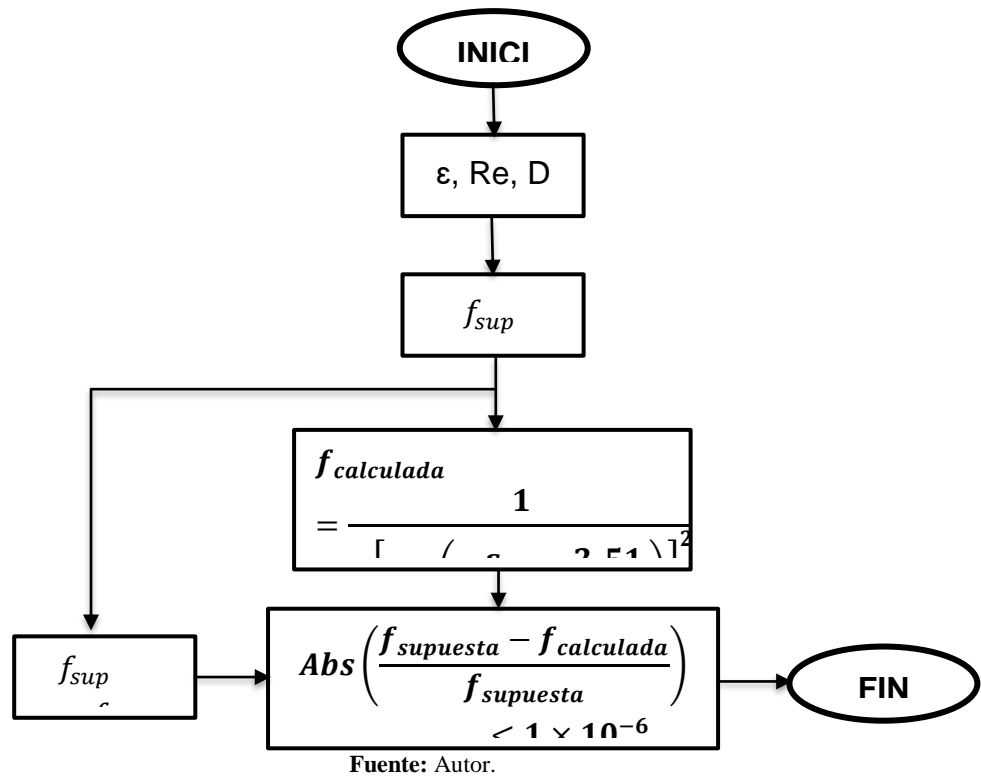
ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

$$\frac{f_{supuesta} - f_{calculada}}{f_{supuesta}}$$

Ecuación 5.

Si el resultado obtenido en la ecuación 5 es menor a 0.000001 el valor de la fricción será el obtenido en la ecuación 4, pero si esta condición no se cumple se deberá seguir iterando de manera para que dicho término sea el correcto. El procedimiento para seguir debe ser el establecido en el siguiente diagrama de flujo:

Diagrama de flujo 1: Comprobación del valor de fricción en régimen turbulento.



No está de más aclarar que para determinar el valor de fricción en el flujo transicional se tomó como si dicho flujo fuese laminar para simplificación de datos, es decir que los valores de fricción para flujo laminar y transicional se determinaron con la ecuación 6:

$$f_{laminar} = \frac{64}{Re} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Ofrecida en el libro Mecánica de Fluidos del autor Robert L. Mott. Los resultados obtenidos se encuentran en un rango de:

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Tabla 5:

Rango del factor de fricción calculada en condición de flujo laminar en PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Fricción (f_{calc})	Fricción (f_{calc})	Fricción (f_{calc})
$0,0171 \leq f_{calc} \leq 0,1025$	$0,0171 \leq f_{calc} \leq 0,0513$	$0,0192 \leq f_{calc} \leq 0,0769$

Fuente: Autor.

Tabla 6:

Rango del factor de fricción calculada y supuesta en condición de flujo turbulento en PET.

Diámetro 1		Diámetro 2		Diámetro 3	
Fricción (f_{sup})	Fricción (f_{calc})	Fricción (f_{sup})	Fricción (f_{calc})	Fricción (f_{sup})	Fricción (f_{calc})
$0,0190 \leq f_{sup} \leq 0,0390$	$0,0190 \leq f_{calc} \leq 0,0390$	$0,0178 \leq f_{sup} \leq 0,0377$	$0,0178 \leq f_{calc} \leq 0,0377$	$0,0183 \leq f_{sup} \leq 0,0396$	$0,0183 \leq f_{calc} \leq 0,0396$

Fuente: Autor.

Los resultados se podrán apreciar de manera más general en los anexos 4, 5 y 6.

La Rugosidad Relativa, se calcula dividiendo la rugosidad absoluta del material con el diámetro de tubería analizada:

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{D} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Este valor es constante, ya que la tubería está constituida del mismo material.

Tabla 7:

Rugosidad relativa de las tuberías del material PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Rugosidad relativa (ϵ_1) m/m	Rugosidad relativa (ϵ_2) m/m	Rugosidad relativa (ϵ_3) m/m
0,000144882	0,000289764	0,0001932

Fuente: Autor.

Para las pérdidas de carga generadas por fricción en la tubería se tuvo en cuenta la ecuación de Darcy-Weisbach, por lo que es necesario el uso de la ecuación 8:

$$h_f = f \frac{L_{equiv}}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 8.}$$

Encontrándose los resultados en un rango de:

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Tabla 8:

Rango de valores de pérdida de carga generadas por fricción en el PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Pérdida de carga (h_f) mca	Pérdida de carga (h_f) mca	Pérdida de carga (h_f) mca
$0,000120 \leq h_f \leq 0,500135$	$0,001923 \leq h_f \leq 15,024056$	$0,000380 \leq h_f \leq 2,033001$

Fuente: Autor.

Encontrándose en la sección de Anexos los resultados obtenidos (Anexo 7). Cabe mencionar que los resultados obtenidos en cada una de estas ecuaciones se encuentran descritos en el orden respectivo. Junto a estos se realiza una serie de gráficas que simula el Diagrama de Moody individual (para cada diámetro de tubería) y general para este material bajo estas condiciones.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

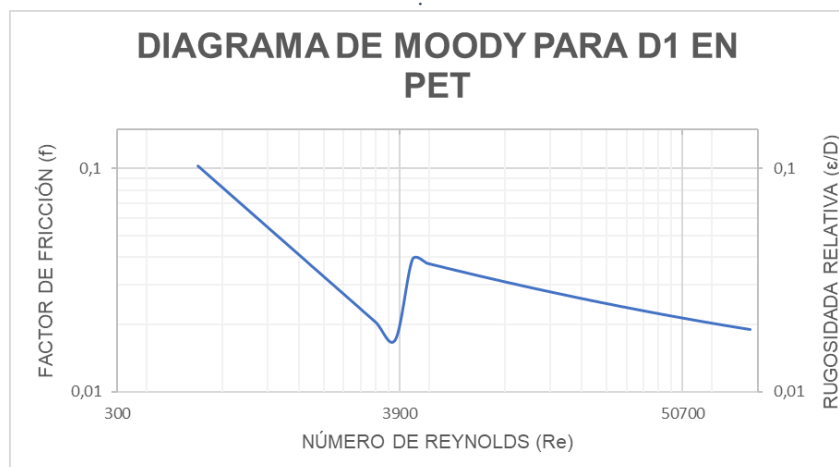


Figura 1: Diagrama de Moody para diámetro 1 en Tereftalato de Polietileno bajo las condiciones dadas anteriormente Fuente: Autor.

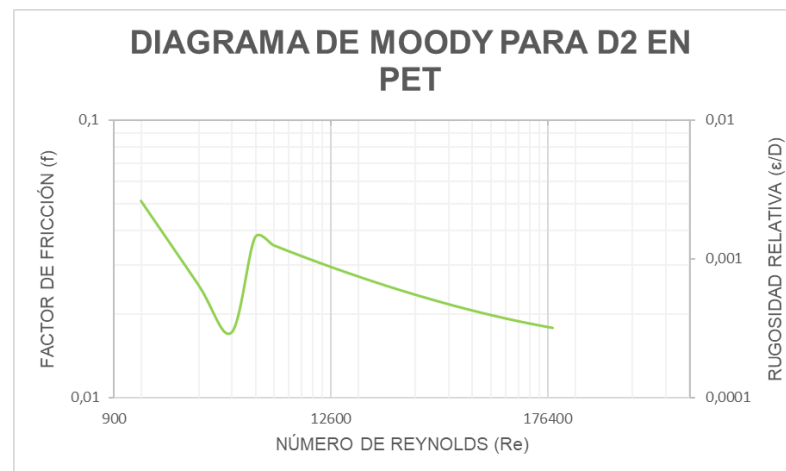


Figura 2: Diagrama de Moody para diámetro 2 en Tereftalato de Polietileno bajo las condiciones dadas anteriormente. Fuente: Autor.

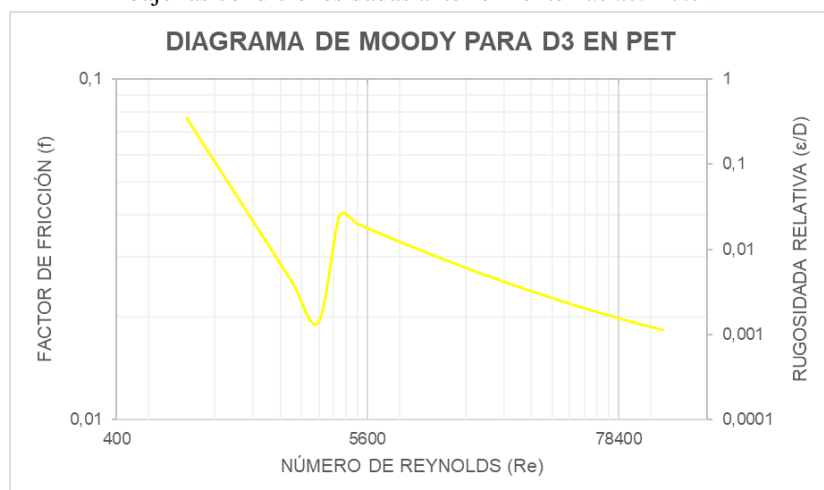


Figura 3: Diagrama de Moody para diámetro 3 en Tereftalato de Polietileno bajo las condiciones dadas anteriormente. Fuente: Autor.

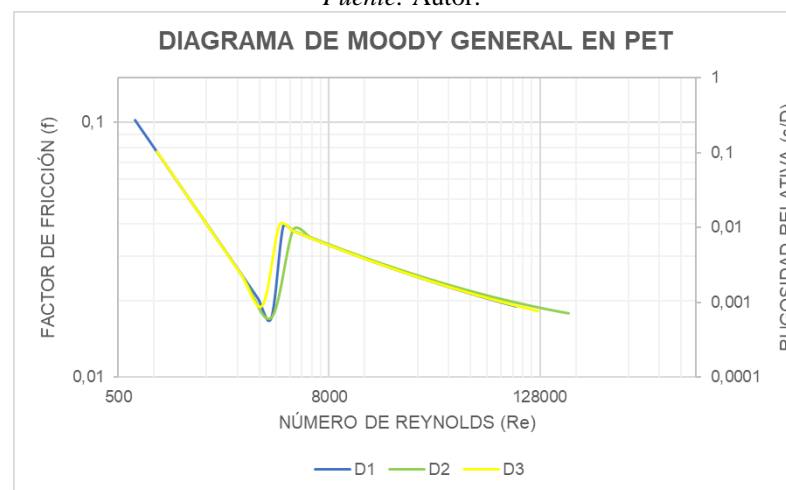


Figura 4: Diagrama de Moody general en Tereftalato de Polietileno bajo las condiciones dadas anteriormente. Fuente: Autor.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Una vez realizados los cálculos para el material a trabajar se procede a determinar los factores anteriormente mencionados para un material con características similares, en este caso el PVC, para así poder realizar un análisis comparativo del comportamiento que presenta el material PET con un material plástico ya existente y común en el ámbito de las tuberías.

- **Datos básicos:** Estos datos en su mayoría fueron investigados exhaustivamente, ya que no se encontraba mucha información acerca de él.

Tabla 9:

Condiciones de frontera, policloruro de vinilo.

DATOS BÁSICOS		
ε	0,0015	m
g	9,81	m/s ²
ν	0,000000803	m ² /s
D_1	0,0254	m
D_2	0,0127	m
D_3	0,01905	m
L	1,5	m

Fuente: Autor.

La rugosidad absoluta se obtuvo del libro Mecánica de Fluidos de Yunus Cengel⁵. Habiendo conocido el origen de los datos básicos, se procede a conocer el proceso para conocer cada uno de los parámetros hidráulicos, el Caudal (Q) fue asumido a criterio y aumentando cada vez más, con el fin de pasar por cada uno de los estados de flujo (laminar, transicional y turbulento), estos valores son los mismos que se utilizaban el plástico PET. Los caudales establecidos varían en un rango de $(0,00001 < Q < 0,0015)m^3/s$ en tres diámetros domésticos escogidos 1", 1/2" y 3/4"

El valor del Área de la sección transversal de la tubería (A_c) fue determinado mediante la **ecuación 1:**

Tabla 10:

Área de la sección transversal de la tubería de PVC.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Área transversal (A_{c1}) m^2	Área transversal (A_{c2}) m^2	Área transversal (A_{c3}) m^2
0,000506707	0,000126677	0,000285

Fuente: Autor.

Luego el parámetro de Velocidad (V) fue hallado despejando la ecuación de caudal, dando paso a la **ecuación 2**, arrojando los resultados:

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Tabla 11:

Rango de los valores de velocidad obtenidos en cada diámetro de PVC.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Velocidad (V_1) m/s	Velocidad (V_2) m/s	Velocidad (V_3) m/s
$0,0197 \leq V_1 \leq 2,960$	$0,0789 \leq V_2 \leq 11,841$	$0,0350 \leq V_3 \leq 5,262$

Fuente: Autor.

Los resultados obtenidos pueden verse de manera más completa en Anexo 8.

El Número de Reynolds (**Re**) fue registrado con su ecuación original, teniendo en cuenta los valores que se poseían (viscosidad cinemática, velocidad y diámetro), en otras palabras, teniendo en cuenta la **ecuación 3**.

Se tomó en consideración que la tubería funcionaría en red doméstica, por lo que la temperatura que se considerará dentro de la misma será un par de grados menos a la temperatura ambiente que se maneja en el lugar de estudio (Barranquilla), ya que la temperatura que se maneja en esta ciudad es no mayor a 32°C , se decide tomar como referencia una temperatura de aproximadamente 30°C , dando así, una viscosidad cinemática de $8.03 \times 10^{-7} \text{ Kg/m}^3$. Teniendo en cuenta los respectivos valores de velocidad y diámetros, esto dio consecuencia a la determinación del flujo trabajado, teniendo en cuenta las especificaciones establecidas y descritas en el libro Mecánica de Fluidos de Yunus Cengel:

Tabla 12:

Rango de valores de Número de Reynolds en cada diámetro del PVC.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Número de Reynolds (Re)	Número de Reynolds (Re)	Número de Reynolds (Re)
$624 \leq Re \leq 93638$	$1249 \leq Re \leq 187276$	$832 \leq Re \leq 124851$

Fuente: Autor.

En la sección de Anexos, se puede observar una tabla con los valores del Número de Reynolds con el régimen de flujo de cada valor (Anexo 9).

Para calcular el valor de Fricción (**f**) se utilizó la ecuación de Colebrook White para flujo turbulento, por medio del método anteriormente explicado, utilizando la **ecuación 4**, la **ecuación 5** y la **ecuación 6**, arrojando como resultado:

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Tabla 13:

Rango del factor de fricción calculada en condición de flujo laminar en PVC.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Fricción (f_{calc})	Fricción (f_{calc})	Fricción (f_{calc})
$0,0171 \leq f_{calc} \leq 0,1025$	$0,0171 \leq f_{calc} \leq 0,0513$	$0,0192 \leq f_{calc} \leq 0,0769$

Fuente: Autor.

Tabla 14:

Rango del factor de fricción calculada y supuesta en condición de flujo turbulento en PVC.

Diámetro 1		Diámetro 2		Diámetro 3	
Fricción (f_{sup})	Fricción (f_{calc})	Fricción (f_{sup})	Fricción (f_{calc})	Fricción (f_{sup})	Fricción (f_{calc})
$0,0182 \leq f_{sup} \leq 0,0389$	$0,0182 \leq f_{calc} \leq 0,0389$	$0,0158 \leq f_{sup} \leq 0,0374$	$0,0158 \leq f_{calc} \leq 0,0374$	$0,0896 \leq f_{sup} \leq 0,0937$	$0,0896 \leq f_{calc} \leq 0,0937$

Fuente: Autor.

Los resultados se podrán apreciar de manera más general en los anexos 10, 11 y 12.

Para la Rugosidad Relativa solo fue dividir la rugosidad del material entre el diámetro de la tubería en cuestión, utilizando la **ecuación 7**.

Este valor es constate, ya que la tubería está constituida del mismo material.

Tabla 15:

Rugosidad relativa de cada diámetro del material PVC.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Rugosidad relativa (ϵ_1) m/m	Rugosidad relativa (ϵ_2) m/m	Rugosidad relativa (ϵ_3) m/m
0,059055118	0,118110236	0,078740157

Fuente: Autor.

Para las pérdidas de carga generadas en la tubería se tuvo en cuenta la **ecuación 8**:

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Tabla 16:

Rango de valores de pérdida de carga generadas por fricción en el PVC.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Pérdida de carga (h_f) mca	Pérdida de carga (h_f) mca	Pérdida de carga (h_f) mca
$0,00012 \leq h_f \leq 0,48109$	$0,00192 \leq h_f \leq 13,37046$	$0,00038 \leq h_f \leq 9,95626$

Fuente: Autor.

Encontrándose en la sección de Anexos los resultados obtenidos (Anexo 13). Cabe mencionar que los resultados obtenidos en cada una de estas ecuaciones se encuentran descritos en el orden respectivo, junto a estos se realiza una serie de gráficas que simula el Diagrama de Moody individual (para cada diámetro de tubería) y general para este material bajo estas condiciones.

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

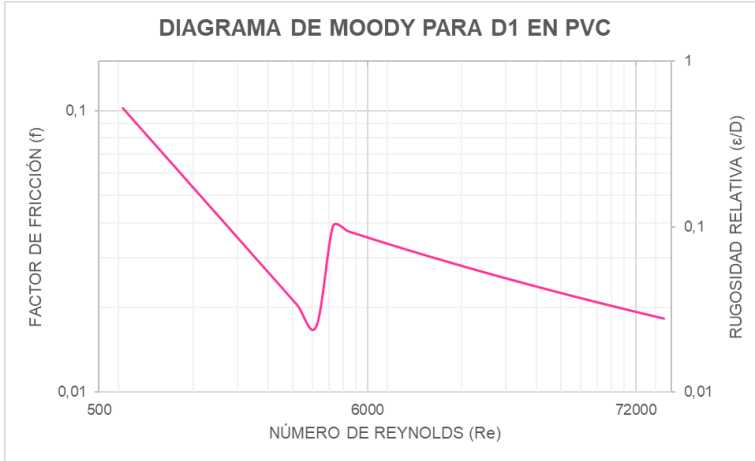


Figura 5: Diagrama de Moody para diámetro 1 en Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente.

Fuente: Autor.

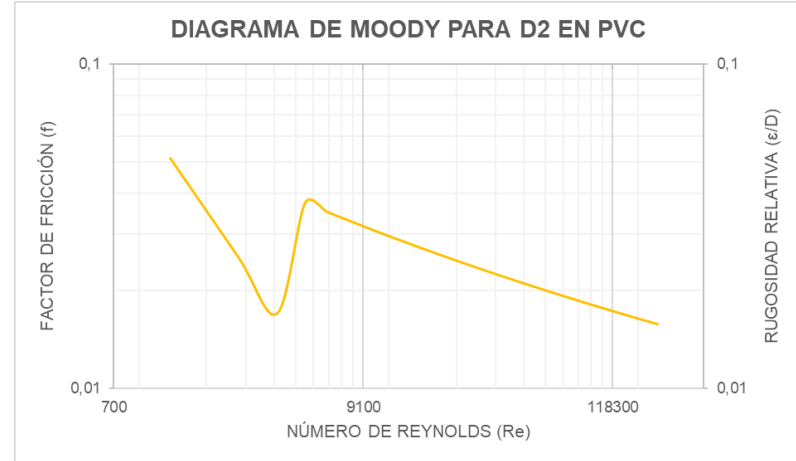


Figura 6: Diagrama de Moody para diámetro 2 en Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente.

Fuente: Autor.

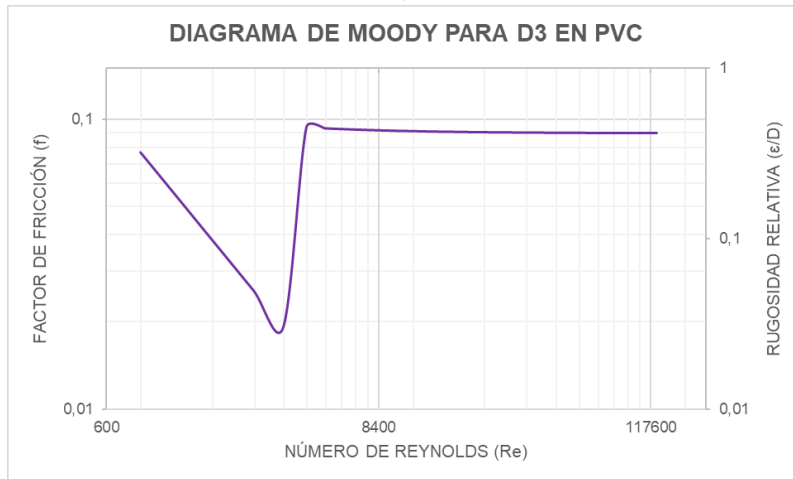


Figura 7: Diagrama de Moody para diámetro 3 en Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente Fuente: Autor.

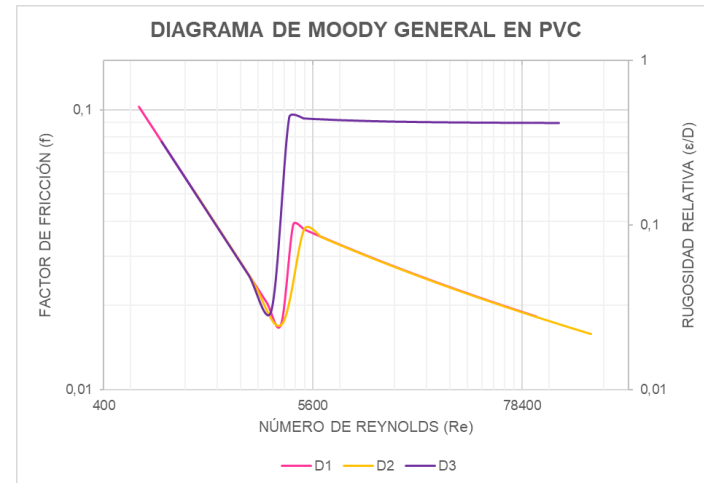


Figura 8: Diagrama de Moody general en Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente.

Fuente: Autor.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Es importante tener en cuenta el golpe de ariete que se puede generar en la tubería de agua potable de plástico PET en cada una de las tres tuberías propuestas para el proyecto, teniendo en cuenta las ecuaciones planteadas en el libro “*Elementos para el diseño para acueductos y alcantarillado*” de Ricardo López Cualla 2ª Edición. En esta sección se tendrán en cuenta los diámetros de fabricación de la tubería y no los nominales como se venía trabajando, dando así la siguiente tabla:

Tabla 17:

Diámetros internos de la tubería PET.

Diámetro 1 (m)	Diámetro 2 (m)	Diámetro 3 (m)
0,0266	0,0158	0,0210

Fuente: Autor.

Teniendo esto en cuenta por criterio propio se decide tomar un caudal que normalmente se ve en las redes de distribución de agua potable domesticas la cual se encuentra en un rango de $\pm 0,0004 m^3/s$.

El golpe de ariete es un choque violento producido sobre las paredes de la tubería, al modificarse de manera instantánea el movimiento del fluido, este suceso es muy común en las válvulas al hacer un cierre repentino de esta. Como cualquier efecto oscilatorio este fenómeno presenta un periodo en el que se repite una situación, en cuyo caso, este presenta una sobrepresión o depresión de la onda que se desplaza de un extremo al otro de la tubería, dependiendo de la longitud de la tubería y de su celeridad, donde L es la longitud de la tubería, es decir $L = 1,5m$, la C es la celeridad de la onda de presión a través del fluido en el interior de la tubería y depende de las características físicas de la tubería, (dimensión y material). Teniendo en cuenta lo anterior se puede determinar la Celeridad de onda utilizando la ecuación de Allievi:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + k_e \frac{D}{e}}} \quad \text{Ecuación 9.}$$

Para determinar esto, fue necesario determinar los espesores de pared de cada tubería, por lo que se decidió por juicio propio usar un valor promedio de los espesores vistos normalmente en el mercado para tuberías de plástico, siendo estos espesores de:

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Tabla 18:

Espesores utilizados para cada diámetro de tubería PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Espesor (e_1) m	Espesor (e_2) m	Espesor (e_3) m
0,0034	0,0028	0,0029

Fuente: Autor.

El valor k es la relación entre el módulo de elasticidad del agua y del material de la tubería, este puede ser obtenido mediante la siguiente tabla:

Tabla 19:

Relación de módulos de elasticidad del agua y del material de la tubería.

Tabla 10.13
Relación de módulos de elasticidad del agua
y del material de la tubería

Material de la tubería	K
Acero	0,5
Hierro fundido	1,0
Concreto	5,0
Asbesto-cemento	4,4
Plástico	18,0

Fuente: Elementos de diseño para acueducto y alcantarillado.¹³

El valor del módulo k también se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$k = \frac{10^{10}}{E_T} \quad \text{Ecuación 10.}$$

Donde el módulo de elasticidad E_T está en Kg/m^2 . Según un estudio realizado por la empresa Sonelastic, empresa encargada de brindar soluciones avanzadas para la caracterización de los materiales de manera amigable con el ambiente, determinó el módulo de elasticidad de diferentes polímeros, entre los cuales está el valor del Tereftalato de Polietileno (PET), el cual arrojó un rango de $(2.76 - 4.14)GPa$. Para fines investigativos se decide por criterio propio utilizar el valor más alto, es decir $E_{PET} = 4.14GPa$ o $\varepsilon_{PET} = 4.14 \times 10^8 Kg/m^2$. Utilizando la **ecuación 10** el coeficiente k es el siguiente:

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Tabla 20:

Relación entre el módulo de elasticidad del agua y del PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Relación k (k_{PET})	Relación k (k_{PET})	Relación k (k_{PET})
24,15	24,15	24,15

Fuente: Autor.

Teniendo estos valores se puede calcular la celeridad de la onda de choque utilizando la ecuación 9, dando así los siguientes resultados:

Tabla 21: Celeridad de la onda de choque en la tubería de PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Celeridad (C_1) m/s	Celeridad (C_2) m/s	Celeridad (C_3) m/s
562,8	694,1	620,6

Fuente: Autor.

Se decide por criterio propio utilizar un tiempo de maniobra rápido, debido a que, al tener una maniobra rápida, la válvula quedará completamente cerrada antes de que la onda de presión comience a actuar. Para saber el tipo de maniobra a realizar se debe tener en claro la siguiente especificación:

$$T_m \geq T \rightarrow \text{Cierre lento}$$

$$T_m < T_m \rightarrow \text{Cierre rápido}$$

Teniendo en cuenta este criterio se determina la presión generada en la tubería aplicando la ecuación de Allievi:

$$H_a = \frac{CV}{g} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Dando así los siguientes resultados:

Tabla 22:

Sobrepresión generada en la tubería de PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Sobrepresión (Ha_1) mca	Sobrepresión (Ha_2) mca	Sobrepresión (Ha_3) mca
41,29	144,36	73,06
Sobrepresión (Ha_1) PSI	Sobrepresión (Ha_2) PSI	Sobrepresión (Ha_3) PSI
58,72	205,27	103,89

Fuente: Autor.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Al obtener los valores de presión generadas en la tubería, se procede a calcular el factor de seguridad del espesor de esta, con la siguiente ecuación:

$$F.S = \frac{F_{PET}}{\sigma_{PET}} \quad \text{Ecuación 12.}$$

Donde F_{PET} es la fluencia del PET el cual según un artículo publicado ELAPLAS es de $F_{PET} = 90MPA$ o $F_{PET} = 13030,34PSI$ y σ_{PET} es el esfuerzo por sobrepresión en la tubería y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_{PET} = \frac{rHa}{e} \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde r es el radio de la tubería. Para determinar si la tubería es óptima para funcionar como red de distribución domestica soportando el golpe de ariete generado en ella sin tener posibilidad de falla se debe tener en cuenta el siguiente criterio:

$F.S > 1$ Óptimo

$F.S < 1$ No óptimo

Sustituyendo los valores en la **ecuación 12** los valores del esfuerzo generado en el interior de la tubería en cada uno de los diámetros propuestos son:

Tabla 23:

Esfuerzos generados en el interior de la tubería PET por sobrepresión.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Esfuerzo por sobrepresión (σ_1) PSI	Esfuerzo por sobrepresión (σ_2) PSI	Esfuerzo por sobrepresión (σ_3) PSI
231,059	585,441	380,098

Fuente: Autor.

Para finalizar se determina el factor de seguridad de la tubería en cada diámetro teniendo en cuenta **ecuación 11**:

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Tabla 24:

Factor de seguridad de la tubería PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Factor de seguridad ($F.S_1$)	Factor de seguridad ($F.S_2$)	Factor de seguridad ($F.S_3$)
56,39	22,25	34,28

Fuente: Autor.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

7. Análisis De Resultados Obtenidos.

En el apartado anterior se pudo evidenciar el comportamiento de ambos materiales plásticos (PET y PVC), materiales con características similares, siendo comprobados en algunos de los resultados obtenidos y se puede observar más claramente en las gráficas, ya que solo varían en rangos de diferencias muy pequeños. Puede detallarse en el anexo 1.

Para el factor de fricción en flujo turbulento ambos materiales arrojaron resultados similares en los diámetros 1" y 1/2", siendo los resultados $0,0190 \leq f_{calc} \leq 0,0390$ y $0,0178 \leq f_{calc} \leq 0,0377$, respectivamente para el PET y para el PVC $0,0182 \leq f_{calc} \leq 0,0389$ y $0,0158 \leq f_{calc} \leq 0,0374$, respectivamente. Los valores obtenidos en la tubería de diámetro 3/4" dan un margen de diferencia bastante alto, para el PET los resultados están en un rango de $0,0183 \leq f_{calc} \leq 0,0396$ y $0,0896 \leq f_{calc} \leq 0,0937$ para el PVC, esto puede notarse en el anexo 1., donde la pendiente de este material en este diámetro está muy por encima de las demás. Estos datos anómalos pueden ser producto humano, error operacional del programa utilizado para resolver las ecuaciones utilizadas.

Por otro lado, las pérdidas de carga generadas en las tuberías siendo directamente proporcionales a la fricción de las partículas del fluido entre sí y contra las paredes de la tubería que las contiene, dieron resultados relativamente bajos, siendo muy similares entre ambos plásticos, debido a las características que presentan cada uno. Los valores obtenidos para el diámetro de 1" y 1/2" para el plástico PET se encuentran en los rangos $0,000120 \leq h_f \leq 0,500135$ y $0,001923 \leq h_f \leq 15,024056$ respectivamente, y en ese mismo orden se encuentran los rangos para PVC $0,00012 \leq h_f \leq 0,48109$ y $0,00192 \leq h_f \leq 13,37046$; siendo los resultados del diámetro de 3/4" para el PET y el PVC distantes entre sí, siendo los rangos $0,000380 \leq h_f \leq 2,033001$ y $0,00038 \leq h_f \leq 9,95626$, respectivamente. A simple vista se puede notar que las pérdidas de carga generadas en las tuberías de PVC son menores que en las de plástico PET en los diámetros de 1" y 1/2", para la tubería de diámetro de 3/4" los valores de pérdida de carga son mayores en la de PVC siendo esto probable por un error humano y o computacional.

Teniendo en cuenta lo acordado en el Norma Técnica Colombiana (NTC) 1500 de 2017 la presión que en redes residenciales se encuentran en un rango de $60PSI < Ha < 80PSI$, se puede decir que la presión obtenida en tubería de diámetro 1 (1") no cumple con lo establecido en la norma, dando un valor de $58,72PSI$, para los diámetros 2 y 3, teniendo resultados de $205,27PSI$ y $103,89PSI$, respectivamente, se alejan de la presión máxima establecida por el NTC, no obstante pueden funcionar normalmente bajo estas presiones y tener un buen servicio.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir teóricamente, una tubería de tereftalato de polietileno (PET) puede cumplir la función de una tubería hidráulica funcionando en una red doméstica, teniendo resultados similares a una red de tuberías de policloruro de vinilo (PVC),

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

ya que las pérdidas generadas, aunque son mayores en la tubería de plástico PET son despreciables debido a la continuidad del flujo de agua y la presión producida por bombeo, además de resistir el golpe de ariete generado en el interior de la tubería por interrupciones en el flujo del agua.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

8. Conclusiones.

El objetivo fundamental de esta tesis era analizar el comportamiento hidráulico del tereftalato de polietileno (plástico PET) en tuberías domesticas bajo diversos regímenes de flujo por medio de análisis numérico para comparar sus resultados con tuberías de PVC bajo las mismas condiciones dimensionales y de flujo y por ende abarcando una problemática ambiental que está afectando al planeta y en este caso evaluamos la ciudad de Barranquilla y nos encontramos que la problemática es muy común siendo nuestra propuesta una ayuda tanto ambiental como en el gremio de la construcción.

Siendo así, la principal aportación de este trabajo consiste en proponer un modelo matemático susceptible de resolverse por medio de análisis numérico para la construcción del Diagrama de Moody de diversos materiales bajo regímenes de flujo el cual se realizó en un programa de hojas de cálculo (EXCEL) que nos permitió de manera más rápida y precisa a la elaboración de todos los cálculos y graficas correspondientes, en este caso el plástico PET y PVC. Seguido a esto, implementar un modelo matemático del Diagrama de Moody para tres tipos de diámetros de tubería nominal comerciales y de uso doméstico en materiales PET y PVC para conocer su comportamiento frente al número de Reynolds y el factor de fricción por ende se pudo obtener la gráfica del Diagrama de Moody para el tereftalato de polietileno evidenciando el comportamiento de la fricción en relación con el Número de Reynold y la Rugosidad relativa, también durante el proceso se encontró un dato anómalo en la tubería de policloruro de vinilo específicamente en la tubería de 3/4" de diámetro, siendo mayor la fricción producida en dicha tubería, esto pudo ocurrir por un error del servidor Excel o error humano al momento de digitalizar los datos.

Otro de los objetivos era comparar el comportamiento hidráulico del PET y PVC por medio del análisis gráfico del factor de fricción, rugosidad relativa y regímenes de flujo y durante el desarrollo del proyecto se pudo comprobar que el tereftalato de polietileno puede funcionar como material de para tuberías de redes domésticas, manteniendo pérdidas por fricción en un margen permisible, siendo similares a las perdidas obtenidas por el policloruro de vinilo. Se pudo obtener la gráfica del diagrama de Moody para el tereftalato de polietileno evidenciando el comportamiento de la fricción en relación con el Número de Reynold y la Rugosidad relativa.

Dentro del desarrollo de cada uno de los objetivos se logra analizar el comportamiento de la tubería bajo presión ya que esta trabajaría como tubería de presión con usos domésticos y por ende se realiza el cálculo del golpe de ariete el cual permite analizar cuál es la presión máxima que la tubería soporta, en cada uno de los diámetros, dando como resultado que la tubería de 1/2" maneja una presión máxima de 231,05 PSI, para tuberías de 3/4" una presión máxima de

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

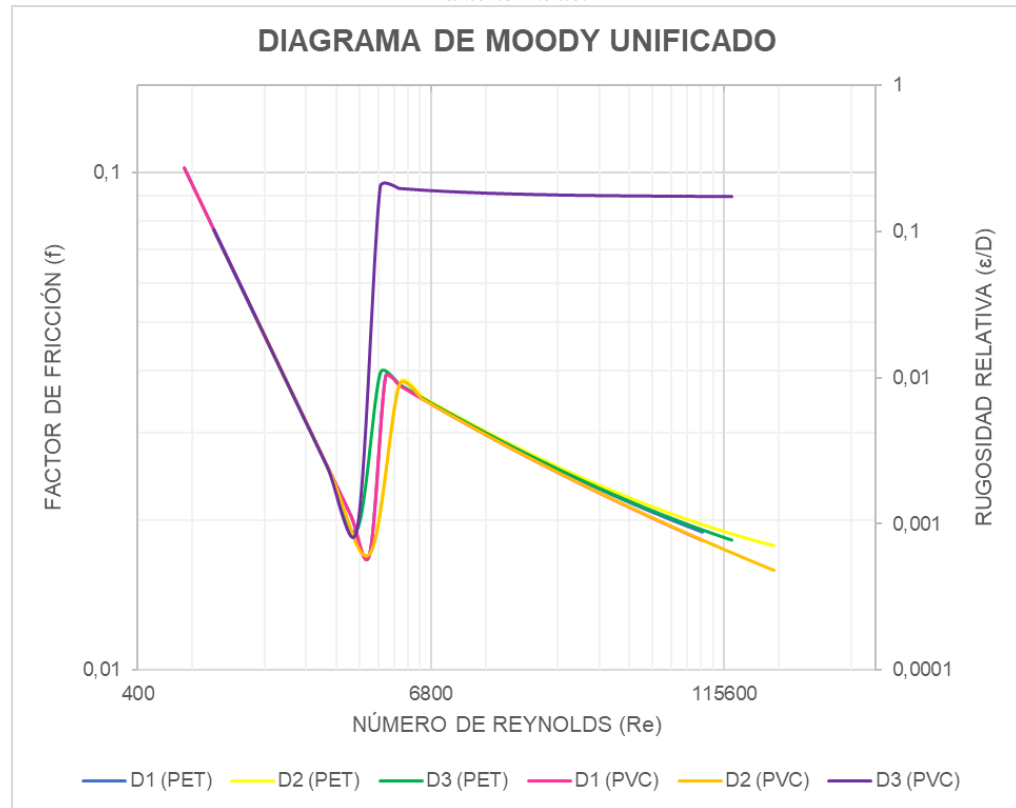
380,09 PSI y para tuberías de 1” una presión máxima de 585,44 PSI. Debido a esto, la presión promedio que se maneja en una tubería de presión uso doméstica es aproximadamente 60-80 PSI lo que prueba que una tubería fabricada con PET es resistente tal cual como la de PVC.

Como finalidad, este proyecto de grado cumplió satisfactoriamente los objetivos principales y adjuntos a ellos la posibilidad de bajar el impacto negativo ambiental que existe haciendo posible al mercado de la construcción un nuevo material a implementar. Científicamente logramos comprobar que el plástico PET tiene un comportamiento similar al del PVC haciendo posible la fabricación de la tubería para así lograr saber el comportamiento de maneja experimental y corroborar lo que se logró en el modelo matemático, teniendo los resultados adjuntos al presente documento. Cabe resaltar que se está innovando al momento de transformar el plástico PET y convertirlo en tuberías de agua potable con fines domésticos, ya que en el mercado de la construcción se implementa de otras maneras tales como en hormigones, baldosas, suelos permeables, asfaltos, etc.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

ANEXOS.

Anexo 1: Diagrama de Moody para Tereftalato de Polietileno y Policloruro de Vinilo bajo las condiciones dadas anteriormente.



Anexo 2: Velocidad del flujo en cada uno de los diámetros establecidos en PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Velocidad (V_1) m/s	Velocidad (V_2) m/s	Velocidad (V_3) m/s
0,0197353	0,078941	0,0350849
0,0394705	0,157882	0,0701698
0,0592058	0,236823	0,1052547
0,0789410	0,315764	0,1403396
0,0986763	0,394705	0,1754245
0,1184115	0,4736461	0,2105094
0,1381468	0,5525871	0,2455943
0,1578820	0,6315281	0,2806791
0,1776173	0,7104691	0,315764
0,1973525	0,7894101	0,3508489
0,2170878	0,8683511	0,3859338
0,2368230	0,9472921	0,4210187
0,2565583	1,0262331	0,4561036

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,2762935	1,1051741	0,4911885
0,2960288	1,1841151	0,5262734
0,3157640	1,2630562	0,5613583
0,3354993	1,3419972	0,5964432
0,3552345	1,4209382	0,6315281
0,3749698	1,4998792	0,666613
0,3947050	1,5788202	0,7016979
0,4144403	1,6577612	0,7367828
0,4341756	1,7367022	0,7718676
0,4539108	1,8156432	0,8069525
0,4736461	1,8945842	0,8420374
0,4933813	1,9735252	0,8771223
0,5131166	2,0524663	0,9122072
0,5328518	2,1314073	0,9472921
0,5525871	2,2103483	0,982377
0,5723223	2,2892893	1,0174619
0,5920576	2,3682303	1,0525468
0,6117928	2,4471713	1,0876317
0,6315281	2,5261123	1,1227166
0,6512633	2,6050533	1,1578015
0,6709986	2,6839943	1,1928864
0,6907338	2,7629353	1,2279713
0,7104691	2,8418763	1,2630562
0,7302043	2,9208174	1,298141
0,7499396	2,9997584	1,3332259
0,7696748	3,0786994	1,3683108
0,7894101	3,1576404	1,4033957
0,8091453	3,2365814	1,4384806
0,8288806	3,3155224	1,4735655
0,8486159	3,3944634	1,5086504
0,8683511	3,4734044	1,5437353
0,8880864	3,5523454	1,5788202
0,9078216	3,6312864	1,6139051
0,9275569	3,7102275	1,64899
0,9472921	3,7891685	1,6840749
0,9670274	3,8681095	1,7191598
0,9867626	3,9470505	1,7542447
1,0064979	4,0259915	1,7893296
1,0262331	4,1049325	1,8244144
1,0459684	4,1838735	1,8594993

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

1,0657036	4,2628145	1,8945842
1,0854389	4,3417555	1,9296691
1,1051741	4,4206965	1,964754
1,1249094	4,4996376	1,9998389
1,1446446	4,5785786	2,0349238
1,1643799	4,6575196	2,0700087
1,1841151	4,7364606	2,1050936
1,2038504	4,8154016	2,1401785
1,2235856	4,8943426	2,1752634
1,2433209	4,9732836	2,2103483
1,2630562	5,0522246	2,2454332
1,2827914	5,1311656	2,2805181
1,3025267	5,2101066	2,3156029
1,3222619	5,2890476	2,3506878
1,3419972	5,3679887	2,3857727
1,3617324	5,4469297	2,4208576
1,3814677	5,5258707	2,4559425
1,4012029	5,6048117	2,4910274
1,4209382	5,6837527	2,5261123
1,4406734	5,7626937	2,5611972
1,4604087	5,8416347	2,5962821
1,4801439	5,9205757	2,631367
1,4998792	5,9995167	2,6664519
1,5196144	6,0784577	2,7015368
1,5393497	6,1573988	2,7366217
1,5590849	6,2363398	2,7717066
1,5788202	6,3152808	2,8067915
1,5985554	6,3942218	2,8418763
1,6182907	6,4731628	2,8769612
1,6380260	6,5521038	2,9120461
1,6577612	6,6310448	2,947131
1,6774965	6,7099858	2,9822159
1,6972317	6,7889268	3,0173008
1,7169670	6,8678678	3,0523857
1,7367022	6,9468088	3,0874706
1,7564375	7,0257499	3,1225555
1,7761727	7,1046909	3,1576404
1,7959080	7,1836319	3,1927253
1,8156432	7,2625729	3,2278102
1,8353785	7,3415139	3,2628951

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

1,8551137	7,4204549	3,29798
1,8748490	7,4993959	3,3330649
1,8945842	7,5783369	3,3681497
1,9143195	7,6572779	3,4032346
1,9340547	7,7362189	3,4383195
1,9537900	7,81516	3,4734044
1,9735252	7,894101	3,5084893
1,9932605	7,973042	3,5435742
2,0129957	8,051983	3,5786591
2,0327310	8,130924	3,613744
2,0524663	8,209865	3,6488289
2,0722015	8,288806	3,6839138
2,0919368	8,367747	3,7189987
2,1116720	8,446688	3,7540836
2,1314073	8,525629	3,7891685
2,1511425	8,6045701	3,8242534
2,1708778	8,6835111	3,8593382
2,1906130	8,7624521	3,8944231
2,2103483	8,8413931	3,929508
2,2300835	8,9203341	3,9645929
2,2498188	8,9992751	3,9996778
2,2695540	9,0782161	4,0347627
2,2892893	9,1571571	4,0698476
2,3090245	9,2360981	4,1049325
2,3287598	9,3150391	4,1400174
2,3484950	9,3939801	4,1751023
2,3682303	9,4729212	4,2101872
2,3879655	9,5518622	4,2452721
2,4077008	9,6308032	4,280357
2,4274360	9,7097442	4,3154419
2,4471713	9,7886852	4,3505268
2,4669066	9,8676262	4,3856116
2,4866418	9,9465672	4,4206965
2,5063771	10,025508	4,4557814
2,5261123	10,104449	4,4908663
2,5458476	10,18339	4,5259512
2,5655828	10,262331	4,5610361
2,5853181	10,341272	4,596121
2,6050533	10,420213	4,6312059
2,6247886	10,499154	4,6662908

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

2,6445238	10,578095	4,7013757
2,6642591	10,657036	4,7364606
2,6839943	10,735977	4,7715455
2,7037296	10,814918	4,8066304
2,7234648	10,893859	4,8417153
2,7432001	10,9728	4,8768002
2,7629353	11,051741	4,911885
2,7826706	11,130682	4,9469699
2,8024058	11,209623	4,9820548
2,8221411	11,288564	5,0171397
2,8418763	11,367505	5,0522246
2,8616116	11,446446	5,0873095
2,8813469	11,525387	5,1223944
2,9010821	11,604328	5,1574793
2,9208174	11,683269	5,1925642
2,9405526	11,76221	5,2276491
2,9602879	11,841151	5,262734

Fuente: Autor.

Anexo 3: Valores obtenidos del Número de Reynolds y Régimen de flujo en PET.

Diámetro 1		Diámetro 2		Diámetro 3	
Número de Reynolds (Re)	Régimen de flujo.	Número de Reynolds (Re)	Régimen de flujo.	Número de Reynolds (Re)	Régimen de flujo.
624	Laminar	1249	Laminar	832	Laminar
1249	Laminar	2497	Transicional	1665	Laminar
1873	Laminar	3746	Transicional	2497	Transicional
2497	Transicional	4994	Turbulento	3329	Transicional
3121	Transicional	6243	Turbulento	4162	Turbulento
3746	Transicional	7491	Turbulento	4994	Turbulento
4370	Turbulento	8740	Turbulento	5826	Turbulento
4994	Turbulento	9988	Turbulento	6659	Turbulento
5618	Turbulento	11237	Turbulento	7491	Turbulento
6243	Turbulento	12485	Turbulento	8323	Turbulento
6867	Turbulento	13734	Turbulento	9156	Turbulento
7491	Turbulento	14982	Turbulento	9988	Turbulento
8115	Turbulento	16231	Turbulento	10820	Turbulento
8740	Turbulento	17479	Turbulento	11653	Turbulento
9364	Turbulento	18728	Turbulento	12485	Turbulento
9988	Turbulento	19976	Turbulento	13317	Turbulento
10612	Turbulento	21225	Turbulento	14150	Turbulento
11237	Turbulento	22473	Turbulento	14982	Turbulento

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

11861	Turbulento	23722	Turbulento	15814	Turbulento
12485	Turbulento	24970	Turbulento	16647	Turbulento
13109	Turbulento	26219	Turbulento	17479	Turbulento
13734	Turbulento	27467	Turbulento	18311	Turbulento
14358	Turbulento	28716	Turbulento	19144	Turbulento
14982	Turbulento	29964	Turbulento	19976	Turbulento
15606	Turbulento	31213	Turbulento	20808	Turbulento
16231	Turbulento	32461	Turbulento	21641	Turbulento
16855	Turbulento	33710	Turbulento	22473	Turbulento
17479	Turbulento	34958	Turbulento	23305	Turbulento
18103	Turbulento	36207	Turbulento	24138	Turbulento
18728	Turbulento	37455	Turbulento	24970	Turbulento
19352	Turbulento	38704	Turbulento	25802	Turbulento
19976	Turbulento	39952	Turbulento	26635	Turbulento
20600	Turbulento	41201	Turbulento	27467	Turbulento
21225	Turbulento	42449	Turbulento	28299	Turbulento
21849	Turbulento	43698	Turbulento	29132	Turbulento
22473	Turbulento	44946	Turbulento	29964	Turbulento
23097	Turbulento	46195	Turbulento	30796	Turbulento
23722	Turbulento	47443	Turbulento	31629	Turbulento
24346	Turbulento	48692	Turbulento	32461	Turbulento
24970	Turbulento	49940	Turbulento	33294	Turbulento
25594	Turbulento	51189	Turbulento	34126	Turbulento
26219	Turbulento	52437	Turbulento	34958	Turbulento
26843	Turbulento	53686	Turbulento	35791	Turbulento
27467	Turbulento	54934	Turbulento	36623	Turbulento
28091	Turbulento	56183	Turbulento	37455	Turbulento
28716	Turbulento	57431	Turbulento	38288	Turbulento
29340	Turbulento	58680	Turbulento	39120	Turbulento
29964	Turbulento	59928	Turbulento	39952	Turbulento
30588	Turbulento	61177	Turbulento	40785	Turbulento
31213	Turbulento	62425	Turbulento	41617	Turbulento
31837	Turbulento	63674	Turbulento	42449	Turbulento
32461	Turbulento	64922	Turbulento	43282	Turbulento
33085	Turbulento	66171	Turbulento	44114	Turbulento
33710	Turbulento	67419	Turbulento	44946	Turbulento
34334	Turbulento	68668	Turbulento	45779	Turbulento
34958	Turbulento	69916	Turbulento	46611	Turbulento
35582	Turbulento	71165	Turbulento	47443	Turbulento
36207	Turbulento	72413	Turbulento	48276	Turbulento

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

36831	Turbulento	73662	Turbulento	49108	Turbulento
37455	Turbulento	74910	Turbulento	49940	Turbulento
38079	Turbulento	76159	Turbulento	50773	Turbulento
38704	Turbulento	77407	Turbulento	51605	Turbulento
39328	Turbulento	78656	Turbulento	52437	Turbulento
39952	Turbulento	79904	Turbulento	53270	Turbulento
40576	Turbulento	81153	Turbulento	54102	Turbulento
41201	Turbulento	82401	Turbulento	54934	Turbulento
41825	Turbulento	83650	Turbulento	55767	Turbulento
42449	Turbulento	84898	Turbulento	56599	Turbulento
43073	Turbulento	86147	Turbulento	57431	Turbulento
43698	Turbulento	87395	Turbulento	58264	Turbulento
44322	Turbulento	88644	Turbulento	59096	Turbulento
44946	Turbulento	89892	Turbulento	59928	Turbulento
45570	Turbulento	91141	Turbulento	60761	Turbulento
46195	Turbulento	92389	Turbulento	61593	Turbulento
46819	Turbulento	93638	Turbulento	62425	Turbulento
47443	Turbulento	94887	Turbulento	63258	Turbulento
48068	Turbulento	96135	Turbulento	64090	Turbulento
48692	Turbulento	97384	Turbulento	64922	Turbulento
49316	Turbulento	98632	Turbulento	65755	Turbulento
49940	Turbulento	99881	Turbulento	66587	Turbulento
50565	Turbulento	101129	Turbulento	67419	Turbulento
51189	Turbulento	102378	Turbulento	68252	Turbulento
51813	Turbulento	103626	Turbulento	69084	Turbulento
52437	Turbulento	104875	Turbulento	69916	Turbulento
53062	Turbulento	106123	Turbulento	70749	Turbulento
53686	Turbulento	107372	Turbulento	71581	Turbulento
54310	Turbulento	108620	Turbulento	72413	Turbulento
54934	Turbulento	109869	Turbulento	73246	Turbulento
55559	Turbulento	111117	Turbulento	74078	Turbulento
56183	Turbulento	112366	Turbulento	74910	Turbulento
56807	Turbulento	113614	Turbulento	75743	Turbulento
57431	Turbulento	114863	Turbulento	76575	Turbulento
58056	Turbulento	116111	Turbulento	77407	Turbulento
58680	Turbulento	117360	Turbulento	78240	Turbulento
59304	Turbulento	118608	Turbulento	79072	Turbulento
59928	Turbulento	119857	Turbulento	79904	Turbulento
60553	Turbulento	121105	Turbulento	80737	Turbulento
61177	Turbulento	122354	Turbulento	81569	Turbulento

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

61801	Turbulento	123602	Turbulento	82401	Turbulento
62425	Turbulento	124851	Turbulento	83234	Turbulento
63050	Turbulento	126099	Turbulento	84066	Turbulento
63674	Turbulento	127348	Turbulento	84898	Turbulento
64298	Turbulento	128596	Turbulento	85731	Turbulento
64922	Turbulento	129845	Turbulento	86563	Turbulento
65547	Turbulento	131093	Turbulento	87395	Turbulento
66171	Turbulento	132342	Turbulento	88228	Turbulento
66795	Turbulento	133590	Turbulento	89060	Turbulento
67419	Turbulento	134839	Turbulento	89892	Turbulento
68044	Turbulento	136087	Turbulento	90725	Turbulento
68668	Turbulento	137336	Turbulento	91557	Turbulento
69292	Turbulento	138584	Turbulento	92389	Turbulento
69916	Turbulento	139833	Turbulento	93222	Turbulento
70541	Turbulento	141081	Turbulento	94054	Turbulento
71165	Turbulento	142330	Turbulento	94887	Turbulento
71789	Turbulento	143578	Turbulento	95719	Turbulento
72413	Turbulento	144827	Turbulento	96551	Turbulento
73038	Turbulento	146075	Turbulento	97384	Turbulento
73662	Turbulento	147324	Turbulento	98216	Turbulento
74286	Turbulento	148572	Turbulento	99048	Turbulento
74910	Turbulento	149821	Turbulento	99881	Turbulento
75535	Turbulento	151069	Turbulento	100713	Turbulento
76159	Turbulento	152318	Turbulento	101545	Turbulento
76783	Turbulento	153566	Turbulento	102378	Turbulento
77407	Turbulento	154815	Turbulento	103210	Turbulento
78032	Turbulento	156063	Turbulento	104042	Turbulento
78656	Turbulento	157312	Turbulento	104875	Turbulento
79280	Turbulento	158560	Turbulento	105707	Turbulento
79904	Turbulento	159809	Turbulento	106539	Turbulento
80529	Turbulento	161057	Turbulento	107372	Turbulento
81153	Turbulento	162306	Turbulento	108204	Turbulento
81777	Turbulento	163554	Turbulento	109036	Turbulento
82401	Turbulento	164803	Turbulento	109869	Turbulento
83026	Turbulento	166051	Turbulento	110701	Turbulento
83650	Turbulento	167300	Turbulento	111533	Turbulento
84274	Turbulento	168548	Turbulento	112366	Turbulento
84898	Turbulento	169797	Turbulento	113198	Turbulento
85523	Turbulento	171045	Turbulento	114030	Turbulento
86147	Turbulento	172294	Turbulento	114863	Turbulento

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

86771	Turbulento	173542	Turbulento	115695	Turbulento
87395	Turbulento	174791	Turbulento	116527	Turbulento
88020	Turbulento	176039	Turbulento	117360	Turbulento
88644	Turbulento	177288	Turbulento	118192	Turbulento
89268	Turbulento	178536	Turbulento	119024	Turbulento
89892	Turbulento	179785	Turbulento	119857	Turbulento
90517	Turbulento	181033	Turbulento	120689	Turbulento
91141	Turbulento	182282	Turbulento	121521	Turbulento
91765	Turbulento	183530	Turbulento	122354	Turbulento
92389	Turbulento	184779	Turbulento	123186	Turbulento
93014	Turbulento	186027	Turbulento	124018	Turbulento
93638	Turbulento	187276	Turbulento	124851	Turbulento

Fuente: Autor.

Anexo 4: Factor de fricción del DI calculada y supuesta en régimen turbulento, en PET.

Diámetro 1		
Fricción (f supuesta)	Fricción (f calculada)	Condición
0,0000	0,1025	Correcto
0,0000	0,0513	Correcto
0,0000	0,0342	Correcto
0,0000	0,0256	Correcto
0,0000	0,0205	Correcto
0,0000	0,0171	Correcto
0,0390	0,0390	Correcto
0,0376	0,0376	Correcto
0,0363	0,0363	Correcto
0,0353	0,0353	Correcto
0,0344	0,0344	Correcto
0,0336	0,0336	Correcto
0,0329	0,0329	Correcto
0,0322	0,0322	Correcto
0,0316	0,0316	Correcto
0,0311	0,0311	Correcto
0,0306	0,0306	Correcto
0,0302	0,0302	Correcto
0,0298	0,0298	Correcto
0,0294	0,0294	Correcto
0,0290	0,0290	Correcto
0,0287	0,0287	Correcto
0,0284	0,0284	Correcto
0,0281	0,0281	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0278	0,0278	Correcto
0,0275	0,0275	Correcto
0,0273	0,0273	Correcto
0,0271	0,0271	Correcto
0,0268	0,0268	Correcto
0,0266	0,0266	Correcto
0,0264	0,0264	Correcto
0,0262	0,0262	Correcto
0,0260	0,0260	Correcto
0,0258	0,0258	Correcto
0,0257	0,0257	Correcto
0,0255	0,0255	Correcto
0,0253	0,0253	Correcto
0,0252	0,0252	Correcto
0,0250	0,0250	Correcto
0,0249	0,0249	Correcto
0,0247	0,0247	Correcto
0,0246	0,0246	Correcto
0,0245	0,0245	Correcto
0,0243	0,0243	Correcto
0,0242	0,0242	Correcto
0,0241	0,0241	Correcto
0,0240	0,0240	Correcto
0,0239	0,0239	Correcto
0,0238	0,0238	Correcto
0,0237	0,0237	Correcto
0,0236	0,0236	Correcto
0,0235	0,0235	Correcto
0,0234	0,0234	Correcto
0,0233	0,0233	Correcto
0,0232	0,0232	Correcto
0,0231	0,0231	Correcto
0,0230	0,0230	Correcto
0,0229	0,0229	Correcto
0,0228	0,0228	Correcto
0,0227	0,0227	Correcto
0,0227	0,0227	Correcto
0,0226	0,0226	Correcto
0,0225	0,0225	Correcto
0,0224	0,0224	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0224	0,0224	Correcto
0,0223	0,0223	Correcto
0,0222	0,0222	Correcto
0,0221	0,0221	Correcto
0,0221	0,0221	Correcto
0,0220	0,0220	Correcto
0,0219	0,0219	Correcto
0,0219	0,0219	Correcto
0,0218	0,0218	Correcto
0,0218	0,0218	Correcto
0,0217	0,0217	Correcto
0,0216	0,0216	Correcto
0,0216	0,0216	Correcto
0,0215	0,0215	Correcto
0,0215	0,0215	Correcto
0,0214	0,0214	Correcto
0,0214	0,0214	Correcto
0,0213	0,0213	Correcto
0,0212	0,0212	Correcto
0,0212	0,0212	Correcto
0,0211	0,0211	Correcto
0,0211	0,0211	Correcto
0,0210	0,0210	Correcto
0,0210	0,0210	Correcto
0,0210	0,0210	Correcto
0,0209	0,0209	Correcto
0,0209	0,0209	Correcto
0,0208	0,0208	Correcto
0,0208	0,0208	Correcto
0,0207	0,0207	Correcto
0,0207	0,0207	Correcto
0,0206	0,0206	Correcto
0,0206	0,0206	Correcto
0,0206	0,0206	Correcto
0,0205	0,0205	Correcto
0,0205	0,0205	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0203	0,0203	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0203	0,0203	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0199	0,0199	Correcto
0,0199	0,0199	Correcto
0,0199	0,0199	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto

Fuente: Autor.

Anexo 5: Factor de fricción del D2 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PET.

Diámetro 2		
Fricción (f supuesta)	Fricción (f calculada)	Condición
0,0000	0,0513	Correcto
0,0000	0,0256	Correcto
0,0000	0,0171	Correcto
0,0377	0,0377	Correcto
0,0355	0,0355	Correcto
0,0338	0,0338	Correcto
0,0324	0,0324	Correcto
0,0313	0,0313	Correcto
0,0304	0,0304	Correcto
0,0296	0,0296	Correcto
0,0290	0,0290	Correcto
0,0284	0,0284	Correcto
0,0278	0,0278	Correcto
0,0273	0,0273	Correcto
0,0269	0,0269	Correcto
0,0265	0,0265	Correcto
0,0262	0,0262	Correcto
0,0258	0,0258	Correcto
0,0255	0,0255	Correcto
0,0252	0,0252	Correcto
0,0250	0,0250	Correcto
0,0247	0,0247	Correcto
0,0245	0,0245	Correcto
0,0243	0,0243	Correcto
0,0241	0,0241	Correcto
0,0239	0,0239	Correcto
0,0237	0,0237	Correcto
0,0235	0,0235	Correcto
0,0233	0,0233	Correcto
0,0232	0,0232	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0230	0,0230	Correcto
0,0229	0,0229	Correcto
0,0227	0,0227	Correcto
0,0226	0,0226	Correcto
0,0225	0,0225	Correcto
0,0223	0,0223	Correcto
0,0222	0,0222	Correcto
0,0221	0,0221	Correcto
0,0220	0,0220	Correcto
0,0219	0,0219	Correcto
0,0218	0,0218	Correcto
0,0217	0,0217	Correcto
0,0216	0,0216	Correcto
0,0215	0,0215	Correcto
0,0214	0,0214	Correcto
0,0213	0,0213	Correcto
0,0213	0,0213	Correcto
0,0212	0,0212	Correcto
0,0211	0,0211	Correcto
0,0210	0,0210	Correcto
0,0209	0,0209	Correcto
0,0209	0,0209	Correcto
0,0208	0,0208	Correcto
0,0207	0,0207	Correcto
0,0207	0,0207	Correcto
0,0206	0,0206	Correcto
0,0205	0,0205	Correcto
0,0205	0,0205	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0203	0,0203	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0199	0,0199	Correcto
0,0199	0,0199	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0198	0,0198	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0182	0,0182	Correcto
0,0182	0,0182	Correcto
0,0182	0,0182	Correcto
0,0182	0,0182	Correcto
0,0182	0,0182	Correcto
0,0181	0,0181	Correcto
0,0181	0,0181	Correcto
0,0181	0,0181	Correcto
0,0181	0,0181	Correcto
0,0181	0,0181	Correcto
0,0181	0,0181	Correcto
0,0180	0,0180	Correcto
0,0180	0,0180	Correcto
0,0180	0,0180	Correcto
0,0180	0,0180	Correcto
0,0180	0,0180	Correcto
0,0180	0,0180	Correcto
0,0179	0,0179	Correcto
0,0179	0,0179	Correcto
0,0179	0,0179	Correcto
0,0179	0,0179	Correcto
0,0179	0,0179	Correcto
0,0179	0,0179	Correcto
0,0178	0,0178	Correcto
0,0178	0,0178	Correcto
0,0178	0,0178	Correcto
0,0178	0,0178	Correcto

Fuente: Autor.

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Anexo 6: Factor de fricción del D3 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PET.

Diámetro 3		
Fricción (f supuesta)	Fricción (f calculada)	Condición
0,0000	0,0769	Correcto
0,0000	0,0384	Correcto
0,0000	0,0256	Correcto
0,0000	0,0192	Correcto
0,0396	0,0396	Correcto
0,0376	0,0376	Correcto
0,0360	0,0360	Correcto
0,0347	0,0347	Correcto
0,0336	0,0336	Correcto
0,0327	0,0327	Correcto
0,0319	0,0319	Correcto
0,0312	0,0312	Correcto
0,0306	0,0306	Correcto
0,0300	0,0300	Correcto
0,0295	0,0295	Correcto
0,0290	0,0290	Correcto
0,0286	0,0286	Correcto
0,0282	0,0282	Correcto
0,0278	0,0278	Correcto
0,0275	0,0275	Correcto
0,0272	0,0272	Correcto
0,0269	0,0269	Correcto
0,0266	0,0266	Correcto
0,0263	0,0263	Correcto
0,0261	0,0261	Correcto
0,0258	0,0258	Correcto
0,0256	0,0256	Correcto
0,0254	0,0254	Correcto
0,0252	0,0252	Correcto
0,0250	0,0250	Correcto
0,0248	0,0248	Correcto
0,0246	0,0246	Correcto
0,0245	0,0245	Correcto
0,0243	0,0243	Correcto
0,0242	0,0242	Correcto
0,0240	0,0240	Correcto
0,0239	0,0239	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0237	0,0237	Correcto
0,0236	0,0236	Correcto
0,0235	0,0235	Correcto
0,0233	0,0233	Correcto
0,0232	0,0232	Correcto
0,0231	0,0231	Correcto
0,0230	0,0230	Correcto
0,0229	0,0229	Correcto
0,0228	0,0228	Correcto
0,0227	0,0227	Correcto
0,0226	0,0226	Correcto
0,0225	0,0225	Correcto
0,0224	0,0224	Correcto
0,0223	0,0223	Correcto
0,0222	0,0222	Correcto
0,0221	0,0221	Correcto
0,0220	0,0220	Correcto
0,0220	0,0220	Correcto
0,0219	0,0219	Correcto
0,0218	0,0218	Correcto
0,0217	0,0217	Correcto
0,0216	0,0216	Correcto
0,0216	0,0216	Correcto
0,0215	0,0215	Correcto
0,0214	0,0214	Correcto
0,0214	0,0214	Correcto
0,0213	0,0213	Correcto
0,0212	0,0212	Correcto
0,0212	0,0212	Correcto
0,0211	0,0211	Correcto
0,0210	0,0210	Correcto
0,0210	0,0210	Correcto
0,0209	0,0209	Correcto
0,0209	0,0209	Correcto
0,0208	0,0208	Correcto
0,0208	0,0208	Correcto
0,0207	0,0207	Correcto
0,0207	0,0207	Correcto
0,0206	0,0206	Correcto
0,0206	0,0206	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0205	0,0205	Correcto
0,0205	0,0205	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0203	0,0203	Correcto
0,0203	0,0203	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0199	0,0199	Correcto
0,0199	0,0199	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto

Fuente: Autor.

Anexo 7: Pérdida de carga generadas por fricción en las tuberías de PET.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Pérdida de carga (h_f) mca	Pérdida de carga (h_f) mca	Pérdida de carga (h_f) mca
0,000120	0,001923	0,000380
0,000240	0,003846	0,000760
0,000361	0,005769	0,001140

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,000481	0,022646	0,001519
0,000601	0,033263	0,004896
0,000721	0,045606	0,006691
0,002242	0,059613	0,008721
0,002819	0,075236	0,010980
0,003451	0,092435	0,013461
0,004137	0,111176	0,016159
0,004877	0,131431	0,019069
0,005668	0,153174	0,022188
0,006511	0,176386	0,025511
0,007404	0,201045	0,029036
0,008347	0,227135	0,032759
0,009338	0,254640	0,036679
0,010378	0,283546	0,040793
0,011466	0,313841	0,045099
0,012600	0,345512	0,049595
0,013782	0,378548	0,054279
0,015009	0,412940	0,059150
0,016283	0,448677	0,064205
0,017602	0,485753	0,069444
0,018966	0,524157	0,074864
0,020374	0,563883	0,080466
0,021827	0,604924	0,086247
0,023324	0,647272	0,092206
0,024865	0,690922	0,098342
0,026449	0,735868	0,104655
0,028076	0,782104	0,111143
0,029746	0,829624	0,117805
0,031459	0,878424	0,124640
0,033214	0,928498	0,131648
0,035012	0,979843	0,138827
0,036851	1,032453	0,146178
0,038732	1,086325	0,153699
0,040655	1,141455	0,161389
0,042619	1,197838	0,169247
0,044624	1,255472	0,177274
0,046671	1,314352	0,185468
0,048758	1,374476	0,193829
0,050886	1,435840	0,202356
0,053054	1,498441	0,211049

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,055263	1,562276	0,219907
0,057511	1,627343	0,228929
0,059800	1,693638	0,238116
0,062129	1,761159	0,247466
0,064498	1,829903	0,256979
0,066906	1,899869	0,266654
0,069354	1,971053	0,276492
0,071841	2,043453	0,286491
0,074367	2,117067	0,296651
0,076933	2,191894	0,306972
0,079537	2,267930	0,317454
0,082180	2,345174	0,328096
0,084863	2,423624	0,338897
0,087584	2,503279	0,349857
0,090343	2,584135	0,360977
0,093141	2,666193	0,372255
0,095977	2,749449	0,383691
0,098852	2,833902	0,395285
0,101765	2,919551	0,407036
0,104716	3,006393	0,418945
0,107705	3,094429	0,431011
0,110732	3,183655	0,443233
0,113796	3,274071	0,455611
0,116899	3,365676	0,468146
0,120039	3,458467	0,480836
0,123216	3,552443	0,493681
0,126431	3,647604	0,506682
0,129684	3,743949	0,519838
0,132974	3,841475	0,533148
0,136301	3,940181	0,546613
0,139666	4,040067	0,560232
0,143067	4,141132	0,574005
0,146506	4,243373	0,587932
0,149981	4,346791	0,602012
0,153494	4,451385	0,616245
0,157043	4,557152	0,630631
0,160629	4,664093	0,645170
0,164252	4,772205	0,659862
0,167912	4,881489	0,674706
0,171608	4,991944	0,689702

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,175340	5,103568	0,704850
0,179110	5,216360	0,720150
0,182915	5,330320	0,735601
0,186757	5,445447	0,751204
0,190635	5,561740	0,766958
0,194550	5,679198	0,782863
0,198500	5,797821	0,798919
0,202487	5,917608	0,815125
0,206510	6,038557	0,831482
0,210569	6,160669	0,847990
0,214664	6,283942	0,864647
0,218795	6,408376	0,881454
0,222962	6,533970	0,898412
0,227164	6,660723	0,915519
0,231403	6,788635	0,932775
0,235677	6,917705	0,950181
0,239987	7,047933	0,967736
0,244332	7,179318	0,985440
0,248713	7,311859	1,003293
0,253130	7,445555	1,021295
0,257582	7,580407	1,039445
0,262070	7,716413	1,057744
0,266593	7,853573	1,076191
0,271152	7,991886	1,094787
0,275745	8,131352	1,113530
0,280375	8,271971	1,132422
0,285039	8,413741	1,151461
0,289739	8,556663	1,170648
0,294474	8,700735	1,189983
0,299244	8,845958	1,209465
0,304049	8,992330	1,229094
0,308889	9,139852	1,248871
0,313764	9,288523	1,268795
0,318674	9,438342	1,288865
0,323619	9,589309	1,309083
0,328600	9,741423	1,329447
0,333615	9,894685	1,349958
0,338665	10,049093	1,370616
0,343749	10,204647	1,391420
0,348869	10,361348	1,412371

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,354023	10,519194	1,433467
0,359212	10,678184	1,454710
0,364436	10,838320	1,476099
0,369694	10,999599	1,497634
0,374987	11,162023	1,519314
0,380315	11,325590	1,541141
0,385677	11,490300	1,563112
0,391073	11,656153	1,585230
0,396505	11,823149	1,607493
0,401970	11,991286	1,629901
0,407471	12,160566	1,652455
0,413005	12,330986	1,675154
0,418574	12,502548	1,697998
0,424177	12,675251	1,720987
0,429815	12,849094	1,744120
0,435487	13,024077	1,767399
0,441193	13,200200	1,790823
0,446934	13,377463	1,814391
0,452708	13,555864	1,838103
0,458517	13,735405	1,861961
0,464360	13,916084	1,885962
0,470238	14,097902	1,910108
0,476149	14,280858	1,934399
0,482094	14,464951	1,958833
0,488074	14,650182	1,983412
0,494087	14,836550	2,008135
0,500135	15,024056	2,033001

Fuente: Autor.

Anexo 8: Velocidad del flujo en cada uno de los diámetros establecidos en PVC.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Velocidad (V_1) m/s	Velocidad (V_2) m/s	Velocidad (V_3) m/s
0,0197353	0,078941	0,0350849
0,0394705	0,157882	0,0701698
0,0592058	0,236823	0,1052547
0,078941	0,315764	0,1403396
0,0986763	0,394705	0,1754245
0,1184115	0,4736461	0,2105094
0,1381468	0,5525871	0,2455943
0,157882	0,6315281	0,2806791

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,1776173	0,7104691	0,315764
0,1973525	0,7894101	0,3508489
0,2170878	0,8683511	0,3859338
0,236823	0,9472921	0,4210187
0,2565583	1,0262331	0,4561036
0,2762935	1,1051741	0,4911885
0,2960288	1,1841151	0,5262734
0,315764	1,2630562	0,5613583
0,3354993	1,3419972	0,5964432
0,3552345	1,4209382	0,6315281
0,3749698	1,4998792	0,666613
0,394705	1,5788202	0,7016979
0,4144403	1,6577612	0,7367828
0,4341756	1,7367022	0,7718676
0,4539108	1,8156432	0,8069525
0,4736461	1,8945842	0,8420374
0,4933813	1,9735252	0,8771223
0,5131166	2,0524663	0,9122072
0,5328518	2,1314073	0,9472921
0,5525871	2,2103483	0,982377
0,5723223	2,2892893	1,0174619
0,5920576	2,3682303	1,0525468
0,6117928	2,4471713	1,0876317
0,6315281	2,5261123	1,1227166
0,6512633	2,6050533	1,1578015
0,6709986	2,6839943	1,1928864
0,6907338	2,7629353	1,2279713
0,7104691	2,8418763	1,2630562
0,7302043	2,9208174	1,298141
0,7499396	2,9997584	1,3332259
0,7696748	3,0786994	1,3683108
0,7894101	3,1576404	1,4033957
0,8091453	3,2365814	1,4384806
0,8288806	3,3155224	1,4735655
0,8486159	3,3944634	1,5086504
0,8683511	3,4734044	1,5437353
0,8880864	3,5523454	1,5788202
0,9078216	3,6312864	1,6139051
0,9275569	3,7102275	1,64899
0,9472921	3,7891685	1,6840749

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,9670274	3,8681095	1,7191598
0,9867626	3,9470505	1,7542447
1,0064979	4,0259915	1,7893296
1,0262331	4,1049325	1,8244144
1,0459684	4,1838735	1,8594993
1,0657036	4,2628145	1,8945842
1,0854389	4,3417555	1,9296691
1,1051741	4,4206965	1,964754
1,1249094	4,4996376	1,9998389
1,1446446	4,5785786	2,0349238
1,1643799	4,6575196	2,0700087
1,1841151	4,7364606	2,1050936
1,2038504	4,8154016	2,1401785
1,2235856	4,8943426	2,1752634
1,2433209	4,9732836	2,2103483
1,2630562	5,0522246	2,2454332
1,2827914	5,1311656	2,2805181
1,3025267	5,2101066	2,3156029
1,3222619	5,2890476	2,3506878
1,3419972	5,3679887	2,3857727
1,3617324	5,4469297	2,4208576
1,3814677	5,5258707	2,4559425
1,4012029	5,6048117	2,4910274
1,4209382	5,6837527	2,5261123
1,4406734	5,7626937	2,5611972
1,4604087	5,8416347	2,5962821
1,4801439	5,9205757	2,631367
1,4998792	5,9995167	2,6664519
1,5196144	6,0784577	2,7015368
1,5393497	6,1573988	2,7366217
1,5590849	6,2363398	2,7717066
1,5788202	6,3152808	2,8067915
1,5985554	6,3942218	2,8418763
1,6182907	6,4731628	2,8769612
1,638026	6,5521038	2,9120461
1,6577612	6,6310448	2,947131
1,6774965	6,7099858	2,9822159
1,6972317	6,7889268	3,0173008
1,716967	6,8678678	3,0523857
1,7367022	6,9468088	3,0874706

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

1,7564375	7,0257499	3,1225555
1,7761727	7,1046909	3,1576404
1,795908	7,1836319	3,1927253
1,8156432	7,2625729	3,2278102
1,8353785	7,3415139	3,2628951
1,8551137	7,4204549	3,29798
1,874849	7,4993959	3,3330649
1,8945842	7,5783369	3,3681497
1,9143195	7,6572779	3,4032346
1,9340547	7,7362189	3,4383195
1,95379	7,81516	3,4734044
1,9735252	7,894101	3,5084893
1,9932605	7,973042	3,5435742
2,0129957	8,051983	3,5786591
2,032731	8,130924	3,613744
2,0524663	8,209865	3,6488289
2,0722015	8,288806	3,6839138
2,0919368	8,367747	3,7189987
2,111672	8,446688	3,7540836
2,1314073	8,525629	3,7891685
2,1511425	8,6045701	3,8242534
2,1708778	8,6835111	3,8593382
2,190613	8,7624521	3,8944231
2,2103483	8,8413931	3,929508
2,2300835	8,9203341	3,9645929
2,2498188	8,9992751	3,9996778
2,269554	9,0782161	4,0347627
2,2892893	9,1571571	4,0698476
2,3090245	9,2360981	4,1049325
2,3287598	9,3150391	4,1400174
2,348495	9,3939801	4,1751023
2,3682303	9,4729212	4,2101872
2,3879655	9,5518622	4,2452721
2,4077008	9,6308032	4,280357
2,427436	9,7097442	4,3154419
2,4471713	9,7886852	4,3505268
2,4669066	9,8676262	4,3856116
2,4866418	9,9465672	4,4206965
2,5063771	10,025508	4,4557814
2,5261123	10,104449	4,4908663

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

2,5458476	10,18339	4,5259512
2,5655828	10,262331	4,5610361
2,5853181	10,341272	4,596121
2,6050533	10,420213	4,6312059
2,6247886	10,499154	4,6662908
2,6445238	10,578095	4,7013757
2,6642591	10,657036	4,7364606
2,6839943	10,735977	4,7715455
2,7037296	10,814918	4,8066304
2,7234648	10,893859	4,8417153
2,7432001	10,9728	4,8768002
2,7629353	11,051741	4,911885
2,7826706	11,130682	4,9469699
2,8024058	11,209623	4,9820548
2,8221411	11,288564	5,0171397
2,8418763	11,367505	5,0522246
2,8616116	11,446446	5,0873095
2,8813469	11,525387	5,1223944
2,9010821	11,604328	5,1574793
2,9208174	11,683269	5,1925642
2,9405526	11,76221	5,2276491
2,9602879	11,841151	5,262734

Fuente: Autor.

Anexo 9: Valores obtenidos del Número de Reynolds y Régimen de flujo en PVC.

Diámetro 1		Diámetro 2		Diámetro 3	
Número de Reynolds (Re)	Régimen de flujo.	Número de Reynolds (Re)	Régimen de flujo.	Número de Reynolds (Re)	Régimen de flujo.
624	Laminar	1249	Laminar	832	Laminar
1249	Laminar	2497	Transicional	1665	Laminar
1873	Laminar	3746	Transicional	2497	Transicional
2497	Transicional	4994	Turbulento	3329	Transicional
3121	Transicional	6243	Turbulento	4162	Turbulento
3746	Transicional	7491	Turbulento	4994	Turbulento
4370	Turbulento	8740	Turbulento	5826	Turbulento
4994	Turbulento	9988	Turbulento	6659	Turbulento
5618	Turbulento	11237	Turbulento	7491	Turbulento
6243	Turbulento	12485	Turbulento	8323	Turbulento
6867	Turbulento	13734	Turbulento	9156	Turbulento
7491	Turbulento	14982	Turbulento	9988	Turbulento
8115	Turbulento	16231	Turbulento	10820	Turbulento

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

8740	Turbulento	17479	Turbulento	11653	Turbulento
9364	Turbulento	18728	Turbulento	12485	Turbulento
9988	Turbulento	19976	Turbulento	13317	Turbulento
10612	Turbulento	21225	Turbulento	14150	Turbulento
11237	Turbulento	22473	Turbulento	14982	Turbulento
11861	Turbulento	23722	Turbulento	15814	Turbulento
12485	Turbulento	24970	Turbulento	16647	Turbulento
13109	Turbulento	26219	Turbulento	17479	Turbulento
13734	Turbulento	27467	Turbulento	18311	Turbulento
14358	Turbulento	28716	Turbulento	19144	Turbulento
14982	Turbulento	29964	Turbulento	19976	Turbulento
15606	Turbulento	31213	Turbulento	20808	Turbulento
16231	Turbulento	32461	Turbulento	21641	Turbulento
16855	Turbulento	33710	Turbulento	22473	Turbulento
17479	Turbulento	34958	Turbulento	23305	Turbulento
18103	Turbulento	36207	Turbulento	24138	Turbulento
18728	Turbulento	37455	Turbulento	24970	Turbulento
19352	Turbulento	38704	Turbulento	25802	Turbulento
19976	Turbulento	39952	Turbulento	26635	Turbulento
20600	Turbulento	41201	Turbulento	27467	Turbulento
21225	Turbulento	42449	Turbulento	28299	Turbulento
21849	Turbulento	43698	Turbulento	29132	Turbulento
22473	Turbulento	44946	Turbulento	29964	Turbulento
23097	Turbulento	46195	Turbulento	30796	Turbulento
23722	Turbulento	47443	Turbulento	31629	Turbulento
24346	Turbulento	48692	Turbulento	32461	Turbulento
24970	Turbulento	49940	Turbulento	33294	Turbulento
25594	Turbulento	51189	Turbulento	34126	Turbulento
26219	Turbulento	52437	Turbulento	34958	Turbulento
26843	Turbulento	53686	Turbulento	35791	Turbulento
27467	Turbulento	54934	Turbulento	36623	Turbulento
28091	Turbulento	56183	Turbulento	37455	Turbulento
28716	Turbulento	57431	Turbulento	38288	Turbulento
29340	Turbulento	58680	Turbulento	39120	Turbulento
29964	Turbulento	59928	Turbulento	39952	Turbulento
30588	Turbulento	61177	Turbulento	40785	Turbulento
31213	Turbulento	62425	Turbulento	41617	Turbulento
31837	Turbulento	63674	Turbulento	42449	Turbulento
32461	Turbulento	64922	Turbulento	43282	Turbulento
33085	Turbulento	66171	Turbulento	44114	Turbulento

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

33710	Turbulento	67419	Turbulento	44946	Turbulento
34334	Turbulento	68668	Turbulento	45779	Turbulento
34958	Turbulento	69916	Turbulento	46611	Turbulento
35582	Turbulento	71165	Turbulento	47443	Turbulento
36207	Turbulento	72413	Turbulento	48276	Turbulento
36831	Turbulento	73662	Turbulento	49108	Turbulento
37455	Turbulento	74910	Turbulento	49940	Turbulento
38079	Turbulento	76159	Turbulento	50773	Turbulento
38704	Turbulento	77407	Turbulento	51605	Turbulento
39328	Turbulento	78656	Turbulento	52437	Turbulento
39952	Turbulento	79904	Turbulento	53270	Turbulento
40576	Turbulento	81153	Turbulento	54102	Turbulento
41201	Turbulento	82401	Turbulento	54934	Turbulento
41825	Turbulento	83650	Turbulento	55767	Turbulento
42449	Turbulento	84898	Turbulento	56599	Turbulento
43073	Turbulento	86147	Turbulento	57431	Turbulento
43698	Turbulento	87395	Turbulento	58264	Turbulento
44322	Turbulento	88644	Turbulento	59096	Turbulento
44946	Turbulento	89892	Turbulento	59928	Turbulento
45570	Turbulento	91141	Turbulento	60761	Turbulento
46195	Turbulento	92389	Turbulento	61593	Turbulento
46819	Turbulento	93638	Turbulento	62425	Turbulento
47443	Turbulento	94887	Turbulento	63258	Turbulento
48068	Turbulento	96135	Turbulento	64090	Turbulento
48692	Turbulento	97384	Turbulento	64922	Turbulento
49316	Turbulento	98632	Turbulento	65755	Turbulento
49940	Turbulento	99881	Turbulento	66587	Turbulento
50565	Turbulento	101129	Turbulento	67419	Turbulento
51189	Turbulento	102378	Turbulento	68252	Turbulento
51813	Turbulento	103626	Turbulento	69084	Turbulento
52437	Turbulento	104875	Turbulento	69916	Turbulento
53062	Turbulento	106123	Turbulento	70749	Turbulento
53686	Turbulento	107372	Turbulento	71581	Turbulento
54310	Turbulento	108620	Turbulento	72413	Turbulento
54934	Turbulento	109869	Turbulento	73246	Turbulento
55559	Turbulento	111117	Turbulento	74078	Turbulento
56183	Turbulento	112366	Turbulento	74910	Turbulento
56807	Turbulento	113614	Turbulento	75743	Turbulento
57431	Turbulento	114863	Turbulento	76575	Turbulento
58056	Turbulento	116111	Turbulento	77407	Turbulento

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

58680	Turbulento	117360	Turbulento	78240	Turbulento
59304	Turbulento	118608	Turbulento	79072	Turbulento
59928	Turbulento	119857	Turbulento	79904	Turbulento
60553	Turbulento	121105	Turbulento	80737	Turbulento
61177	Turbulento	122354	Turbulento	81569	Turbulento
61801	Turbulento	123602	Turbulento	82401	Turbulento
62425	Turbulento	124851	Turbulento	83234	Turbulento
63050	Turbulento	126099	Turbulento	84066	Turbulento
63674	Turbulento	127348	Turbulento	84898	Turbulento
64298	Turbulento	128596	Turbulento	85731	Turbulento
64922	Turbulento	129845	Turbulento	86563	Turbulento
65547	Turbulento	131093	Turbulento	87395	Turbulento
66171	Turbulento	132342	Turbulento	88228	Turbulento
66795	Turbulento	133590	Turbulento	89060	Turbulento
67419	Turbulento	134839	Turbulento	89892	Turbulento
68044	Turbulento	136087	Turbulento	90725	Turbulento
68668	Turbulento	137336	Turbulento	91557	Turbulento
69292	Turbulento	138584	Turbulento	92389	Turbulento
69916	Turbulento	139833	Turbulento	93222	Turbulento
70541	Turbulento	141081	Turbulento	94054	Turbulento
71165	Turbulento	142330	Turbulento	94887	Turbulento
71789	Turbulento	143578	Turbulento	95719	Turbulento
72413	Turbulento	144827	Turbulento	96551	Turbulento
73038	Turbulento	146075	Turbulento	97384	Turbulento
73662	Turbulento	147324	Turbulento	98216	Turbulento
74286	Turbulento	148572	Turbulento	99048	Turbulento
74910	Turbulento	149821	Turbulento	99881	Turbulento
75535	Turbulento	151069	Turbulento	100713	Turbulento
76159	Turbulento	152318	Turbulento	101545	Turbulento
76783	Turbulento	153566	Turbulento	102378	Turbulento
77407	Turbulento	154815	Turbulento	103210	Turbulento
78032	Turbulento	156063	Turbulento	104042	Turbulento
78656	Turbulento	157312	Turbulento	104875	Turbulento
79280	Turbulento	158560	Turbulento	105707	Turbulento
79904	Turbulento	159809	Turbulento	106539	Turbulento
80529	Turbulento	161057	Turbulento	107372	Turbulento
81153	Turbulento	162306	Turbulento	108204	Turbulento
81777	Turbulento	163554	Turbulento	109036	Turbulento
82401	Turbulento	164803	Turbulento	109869	Turbulento
83026	Turbulento	166051	Turbulento	110701	Turbulento

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

83650	Turbulento	167300	Turbulento	111533	Turbulento
84274	Turbulento	168548	Turbulento	112366	Turbulento
84898	Turbulento	169797	Turbulento	113198	Turbulento
85523	Turbulento	171045	Turbulento	114030	Turbulento
86147	Turbulento	172294	Turbulento	114863	Turbulento
86771	Turbulento	173542	Turbulento	115695	Turbulento
87395	Turbulento	174791	Turbulento	116527	Turbulento
88020	Turbulento	176039	Turbulento	117360	Turbulento
88644	Turbulento	177288	Turbulento	118192	Turbulento
89268	Turbulento	178536	Turbulento	119024	Turbulento
89892	Turbulento	179785	Turbulento	119857	Turbulento
90517	Turbulento	181033	Turbulento	120689	Turbulento
91141	Turbulento	182282	Turbulento	121521	Turbulento
91765	Turbulento	183530	Turbulento	122354	Turbulento
92389	Turbulento	184779	Turbulento	123186	Turbulento
93014	Turbulento	186027	Turbulento	124018	Turbulento
93638	Turbulento	187276	Turbulento	124851	Turbulento

Fuente: Autor.

Anexo 10: Factor de fricción del D1 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PVC.

Diámetro 1		
Fricción (f supuesta)	Fricción (f calculada)	Condición
0	0,1025	Correcto
0	0,0513	Correcto
0	0,0342	Correcto
0	0,0256	Correcto
0	0,0205	Correcto
0	0,0171	Correcto
0,0389	0,0389	Correcto
0,0374	0,0374	Correcto
0,0362	0,0362	Correcto
0,0351	0,0351	Correcto
0,0342	0,0342	Correcto
0,0334	0,0334	Correcto
0,0327	0,0327	Correcto
0,0320	0,0320	Correcto
0,0314	0,0314	Correcto
0,0309	0,0309	Correcto
0,0304	0,0304	Correcto
0,0300	0,0300	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0295	0,0295	Correcto
0,0291	0,0291	Correcto
0,0288	0,0288	Correcto
0,0284	0,0284	Correcto
0,0281	0,0281	Correcto
0,0278	0,0278	Correcto
0,0275	0,0275	Correcto
0,0273	0,0273	Correcto
0,0270	0,0270	Correcto
0,0268	0,0268	Correcto
0,0265	0,0265	Correcto
0,0263	0,0263	Correcto
0,0261	0,0261	Correcto
0,0259	0,0259	Correcto
0,0257	0,0257	Correcto
0,0255	0,0255	Correcto
0,0253	0,0253	Correcto
0,0252	0,0252	Correcto
0,0250	0,0250	Correcto
0,0248	0,0248	Correcto
0,0247	0,0247	Correcto
0,0245	0,0245	Correcto
0,0244	0,0244	Correcto
0,0242	0,0242	Correcto
0,0241	0,0241	Correcto
0,0240	0,0240	Correcto
0,0238	0,0238	Correcto
0,0237	0,0237	Correcto
0,0236	0,0236	Correcto
0,0235	0,0235	Correcto
0,0234	0,0234	Correcto
0,0233	0,0233	Correcto
0,0232	0,0232	Correcto
0,0231	0,0231	Correcto
0,0230	0,0230	Correcto
0,0229	0,0229	Correcto
0,0228	0,0228	Correcto
0,0227	0,0227	Correcto
0,0226	0,0226	Correcto
0,0225	0,0225	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0224	0,0224	Correcto
0,0223	0,0223	Correcto
0,0222	0,0222	Correcto
0,0221	0,0221	Correcto
0,0221	0,0221	Correcto
0,0220	0,0220	Correcto
0,0219	0,0219	Correcto
0,0218	0,0218	Correcto
0,0217	0,0217	Correcto
0,0217	0,0217	Correcto
0,0216	0,0216	Correcto
0,0215	0,0215	Correcto
0,0215	0,0215	Correcto
0,0214	0,0214	Correcto
0,0213	0,0213	Correcto
0,0213	0,0213	Correcto
0,0212	0,0212	Correcto
0,0211	0,0211	Correcto
0,0211	0,0211	Correcto
0,0210	0,0210	Correcto
0,0210	0,0210	Correcto
0,0209	0,0209	Correcto
0,0208	0,0208	Correcto
0,0208	0,0208	Correcto
0,0207	0,0207	Correcto
0,0207	0,0207	Correcto
0,0206	0,0206	Correcto
0,0206	0,0206	Correcto
0,0205	0,0205	Correcto
0,0205	0,0205	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0203	0,0203	Correcto
0,0203	0,0203	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0199	0,0199	Correcto
0,0199	0,0199	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0182	0,0182	Correcto

Fuente: Autor.

Anexo 11: Factor de fricción del D2 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PVC.

Diámetro 2		
Fricción (f supuesta)	Fricción (f calculada)	Condición
0	0,0513	Correcto
0	0,0256	Correcto
0	0,0171	Correcto
0,0374	0,0374	Correcto
0,0351	0,0351	Correcto
0,0334	0,0334	Correcto
0,0320	0,0320	Correcto
0,0309	0,0309	Correcto
0,0300	0,0300	Correcto
0,0291	0,0291	Correcto
0,0284	0,0284	Correcto
0,0278	0,0278	Correcto
0,0273	0,0273	Correcto
0,0268	0,0268	Correcto
0,0263	0,0263	Correcto
0,0259	0,0259	Correcto
0,0255	0,0255	Correcto
0,0252	0,0252	Correcto
0,0248	0,0248	Correcto
0,0245	0,0245	Correcto
0,0242	0,0242	Correcto
0,0240	0,0240	Correcto
0,0237	0,0237	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0235	0,0235	Correcto
0,0233	0,0233	Correcto
0,0231	0,0231	Correcto
0,0229	0,0229	Correcto
0,0227	0,0227	Correcto
0,0225	0,0225	Correcto
0,0223	0,0223	Correcto
0,0221	0,0221	Correcto
0,0220	0,0220	Correcto
0,0218	0,0218	Correcto
0,0217	0,0217	Correcto
0,0215	0,0215	Correcto
0,0214	0,0214	Correcto
0,0213	0,0213	Correcto
0,0211	0,0211	Correcto
0,0210	0,0210	Correcto
0,0209	0,0209	Correcto
0,0208	0,0208	Correcto
0,0207	0,0207	Correcto
0,0206	0,0206	Correcto
0,0205	0,0205	Correcto
0,0204	0,0204	Correcto
0,0203	0,0203	Correcto
0,0202	0,0202	Correcto
0,0201	0,0201	Correcto
0,0200	0,0200	Correcto
0,0199	0,0199	Correcto
0,0198	0,0198	Correcto
0,0197	0,0197	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0196	0,0196	Correcto
0,0195	0,0195	Correcto
0,0194	0,0194	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0193	0,0193	Correcto
0,0192	0,0192	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0191	0,0191	Correcto
0,0190	0,0190	Correcto
0,0189	0,0189	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0189	0,0189	Correcto
0,0188	0,0188	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0187	0,0187	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0186	0,0186	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0185	0,0185	Correcto
0,0184	0,0184	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0183	0,0183	Correcto
0,0182	0,0182	Correcto
0,0182	0,0182	Correcto
0,0181	0,0181	Correcto
0,0181	0,0181	Correcto
0,0180	0,0180	Correcto
0,0180	0,0180	Correcto
0,0179	0,0179	Correcto
0,0179	0,0179	Correcto
0,0179	0,0179	Correcto
0,0178	0,0178	Correcto
0,0178	0,0178	Correcto
0,0177	0,0177	Correcto
0,0177	0,0177	Correcto
0,0176	0,0176	Correcto
0,0176	0,0176	Correcto
0,0176	0,0176	Correcto
0,0175	0,0175	Correcto
0,0175	0,0175	Correcto
0,0174	0,0174	Correcto
0,0174	0,0174	Correcto
0,0174	0,0174	Correcto
0,0173	0,0173	Correcto
0,0173	0,0173	Correcto
0,0173	0,0173	Correcto
0,0172	0,0172	Correcto
0,0172	0,0172	Correcto
0,0171	0,0171	Correcto
0,0171	0,0171	Correcto
0,0171	0,0171	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0170	0,0170	Correcto
0,0170	0,0170	Correcto
0,0170	0,0170	Correcto
0,0169	0,0169	Correcto
0,0169	0,0169	Correcto
0,0169	0,0169	Correcto
0,0169	0,0169	Correcto
0,0168	0,0168	Correcto
0,0168	0,0168	Correcto
0,0168	0,0168	Correcto
0,0167	0,0167	Correcto
0,0167	0,0167	Correcto
0,0167	0,0167	Correcto
0,0166	0,0166	Correcto
0,0166	0,0166	Correcto
0,0166	0,0166	Correcto
0,0166	0,0166	Correcto
0,0165	0,0165	Correcto
0,0165	0,0165	Correcto
0,0165	0,0165	Correcto
0,0165	0,0165	Correcto
0,0164	0,0164	Correcto
0,0164	0,0164	Correcto
0,0164	0,0164	Correcto
0,0163	0,0163	Correcto
0,0163	0,0163	Correcto
0,0163	0,0163	Correcto
0,0163	0,0163	Correcto
0,0162	0,0162	Correcto
0,0162	0,0162	Correcto
0,0162	0,0162	Correcto
0,0162	0,0162	Correcto
0,0162	0,0162	Correcto
0,0161	0,0161	Correcto
0,0161	0,0161	Correcto
0,0161	0,0161	Correcto
0,0161	0,0161	Correcto
0,0160	0,0160	Correcto
0,0160	0,0160	Correcto
0,0160	0,0160	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0160	0,0160	Correcto
0,0159	0,0159	Correcto
0,0159	0,0159	Correcto
0,0159	0,0159	Correcto
0,0159	0,0159	Correcto
0,0159	0,0159	Correcto
0,0158	0,0158	Correcto

Fuente: Autor.

Anexo 12: Factor de fricción del D3 calculada y supuesta en régimen turbulento, en PVC.

Diámetro 3		
Fricción (f supuesta)	Fricción (f calculada)	Condición
0	0,0769	Correcto
0	0,0384	Correcto
0	0,0256	Correcto
0	0,0192	Correcto
0,0937	0,0937	Correcto
0,0930	0,0930	Correcto
0,0925	0,0925	Correcto
0,0921	0,0921	Correcto
0,0918	0,0918	Correcto
0,0916	0,0916	Correcto
0,0914	0,0914	Correcto
0,0912	0,0912	Correcto
0,0911	0,0911	Correcto
0,0910	0,0910	Correcto
0,0909	0,0909	Correcto
0,0908	0,0908	Correcto
0,0907	0,0907	Correcto
0,0906	0,0906	Correcto
0,0906	0,0906	Correcto
0,0905	0,0905	Correcto
0,0905	0,0905	Correcto
0,0904	0,0904	Correcto
0,0904	0,0904	Correcto
0,0903	0,0903	Correcto
0,0903	0,0903	Correcto
0,0903	0,0903	Correcto
0,0902	0,0902	Correcto
0,0902	0,0902	Correcto

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0902	0,0902	Correcto
0,0902	0,0902	Correcto
0,0901	0,0901	Correcto
0,0901	0,0901	Correcto
0,0901	0,0901	Correcto
0,0901	0,0901	Correcto
0,0901	0,0901	Correcto
0,0900	0,0900	Correcto
0,0900	0,0900	Correcto
0,0900	0,0900	Correcto
0,0900	0,0900	Correcto
0,0900	0,0900	Correcto
0,0900	0,0900	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0899	0,0899	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0898	0,0898	Correcto
0,0897	0,0897	Correcto

Página | 92

Página | 93

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,0896	0,0896	Correcto
0,0896	0,0896	Correcto

Fuente: Autor.

Anexo 13: Pérdida de carga generadas por fricción en las tuberías de PVC.

Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3
Pérdida de carga (h_f) mca	Pérdida de carga (h_f) mca	Pérdida de carga (h_f) mca
0,00012	0,00192	0,00038
0,00024	0,00385	0,00076
0,00036	0,00577	0,00114
0,00048	0,02245	0,00152
0,00060	0,03293	0,01157
0,00072	0,04508	0,01654
0,00223	0,05885	0,02239
0,00281	0,07417	0,02913
0,00343	0,09101	0,03674
0,00412	0,10932	0,04525
0,00485	0,12908	0,05463
0,00564	0,15025	0,06490
0,00647	0,17282	0,07606
0,00736	0,19675	0,08809
0,00829	0,22203	0,10101
0,00927	0,24864	0,11482
0,01030	0,27657	0,12950
0,01138	0,30578	0,14507
0,01250	0,33629	0,16153
0,01367	0,36805	0,17887
0,01488	0,40108	0,19709
0,01613	0,43534	0,21619
0,01744	0,47084	0,23618
0,01878	0,50756	0,25705
0,02017	0,54550	0,27881
0,02160	0,58463	0,30145
0,02308	0,62496	0,32497
0,02459	0,66647	0,34938
0,02615	0,70915	0,37467
0,02775	0,75301	0,40084
0,02940	0,79802	0,42790
0,03108	0,84419	0,45584
0,03281	0,89151	0,48466

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,03457	0,93996	0,51437
0,03638	0,98955	0,54496
0,03822	1,04027	0,57644
0,04011	1,09211	0,60880
0,04204	1,14506	0,64204
0,04400	1,19912	0,67616
0,04601	1,25429	0,71117
0,04805	1,31056	0,74707
0,05013	1,36792	0,78384
0,05226	1,42637	0,82150
0,05442	1,48591	0,86004
0,05662	1,54652	0,89947
0,05886	1,60822	0,93978
0,06113	1,67098	0,98098
0,06345	1,73481	1,02305
0,06580	1,79971	1,06601
0,06819	1,86566	1,10986
0,07061	1,93267	1,15459
0,07308	2,00073	1,20020
0,07558	2,06984	1,24669
0,07812	2,13999	1,29407
0,08070	2,21118	1,34234
0,08331	2,28341	1,39148
0,08596	2,35668	1,44151
0,08864	2,43097	1,49242
0,09137	2,50629	1,54422
0,09413	2,58264	1,59690
0,09692	2,66000	1,65046
0,09975	2,73839	1,70491
0,10262	2,81779	1,76024
0,10552	2,89820	1,81646
0,10846	2,97962	1,87355
0,11144	3,06204	1,93154
0,11445	3,14547	1,99040
0,11750	3,22991	2,05015
0,12058	3,31534	2,11078
0,12369	3,40176	2,17230
0,12685	3,48918	2,23470
0,13003	3,57759	2,29798
0,13326	3,66699	2,36214

ANÁLISIS DEL TEREF TALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,13651	3,75737	2,42719
0,13981	3,84874	2,49313
0,14313	3,94108	2,55994
0,14649	4,03441	2,62765
0,14989	4,12871	2,69623
0,15332	4,22399	2,76570
0,15679	4,32024	2,83605
0,16029	4,41746	2,90728
0,16382	4,51565	2,97940
0,16739	4,61480	3,05240
0,17099	4,71492	3,12629
0,17463	4,81600	3,20106
0,17830	4,91803	3,27671
0,18200	5,02103	3,35325
0,18574	5,12498	3,43067
0,18951	5,22989	3,50897
0,19332	5,33575	3,58815
0,19715	5,44255	3,66823
0,20103	5,55031	3,74918
0,20493	5,65901	3,83102
0,20887	5,76866	3,91374
0,21285	5,87925	3,99734
0,21685	5,99078	4,08183
0,22089	6,10326	4,16720
0,22496	6,21666	4,25346
0,22907	6,33101	4,34059
0,23321	6,44629	4,42862
0,23738	6,56250	4,51752
0,24158	6,67965	4,60731
0,24582	6,79772	4,69798
0,25009	6,91672	4,78954
0,25439	7,03665	4,88198
0,25873	7,15751	4,97530
0,26310	7,27928	5,06951
0,26750	7,40198	5,16460
0,27193	7,52560	5,26058
0,27640	7,65014	5,35743
0,28090	7,77560	5,45518
0,28543	7,90197	5,55380
0,28999	8,02926	5,65331

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

0,29458	8,15746	5,75370
0,29921	8,28658	5,85498
0,30387	8,41660	5,95714
0,30856	8,54754	6,06018
0,31329	8,67938	6,16410
0,31804	8,81213	6,26891
0,32283	8,94578	6,37461
0,32765	9,08034	6,48118
0,33250	9,21580	6,58864
0,33738	9,35217	6,69699
0,34230	9,48943	6,80622
0,34724	9,62759	6,91633
0,35222	9,76665	7,02732
0,35723	9,90661	7,13920
0,36227	10,04746	7,25196
0,36735	10,18921	7,36561
0,37245	10,33185	7,48013
0,37759	10,47538	7,59555
0,38276	10,61980	7,71184
0,38795	10,76511	7,82902
0,39318	10,91131	7,94709
0,39845	11,05840	8,06603
0,40374	11,20637	8,18586
0,40906	11,35523	8,30658
0,41442	11,50498	8,42817
0,41980	11,65560	8,55065
0,42522	11,80711	8,67402
0,43067	11,95950	8,79827
0,43615	12,11277	8,92340
0,44166	12,26691	9,04941
0,44720	12,42194	9,17631
0,45277	12,57784	9,30409
0,45837	12,73462	9,43276
0,46401	12,89227	9,56231
0,46967	13,05079	9,69274
0,47537	13,21019	9,82406
0,48109	13,37046	9,95626

Fuente: Autor.

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Referencias.

- ¿Es seguro reutilizar las botellas de agua? BBC Mundo¹:
https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/150930_salud_es_seguro_reutilizar_botellas_plastico_ig
- Recytrans - Gestión de residuos no peligrosos ²: <https://www.recytrans.com/gestion-de-residuos/gestion-de-residuos-no-peligrosos/>
- Plásticos PET TECAPET/TECADUR de Ensinger ³: [Plástico de poliéster PET - TECAPET](#)
- “Modification of polyethylene terephthalate by atmospheric pressure dielectric barrier discharge (DBD) in view of improving the polymer wetting properties”. Pag. 5-6. PDF.⁴
- Cengel, Y. A; Cimbala, J. M. 2006. “Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones”. McGraw-Hill. Pág. 235-238. ⁵
- Mott, R. L. 2006. “Mecánica de fluidos”. Sexta edición. Pearson Educación. Pág. 340-342. ⁶
- Redacción BIBO. 31 de julio de 2019. “Contaminación por plástico, una crisis con salida”. EL ESPECTADOR. ⁷. Recuperado de: <https://www.elspectador.com/noticias/medio-ambiente/contaminacion-por-plastico-una-crisis-con-salida/>
- Alianza Unicosta con EL HERALDO. 11 de abril de 2019. “Planeta plástico”. EL HERALDO. ⁸. Recuperado de: <https://www.elheraldo.co/barranquilla/planeta-plastico-618648>
- “Anexo 1-PET”. Pág. 1-4. PDF ⁹. Recuperado de: <http://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/15405/ANEXO%201-PET.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Revista Cultural de la Universidad Libre Seccional Barranquilla ¹¹
- NATIONAL GEOGRAPHIC ESPAÑA. 28 de septiembre de 2016. “Más del 90% de la población mundial respira aire contaminado”. Recuperado de: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/mas-del-90-poblacion-mundial-respira-aire-contaminado_10734
- Ecoologic. “Reciclaje del PET” ¹². Recuperado de: <https://www.ecoologic.com/reciclaje-de-pet>
- Empresas Públicas de Medellín (EPM). Vers. 3, marzo de 2011. “Criterios para definir el diámetro de la acometida y el medidor para urbanizaciones y edificios”. Pág. 9-12.
- Instituto de Tecnología de Sepuluh Nopember Sepuluh Nopember Technol Institute, Fac Vocat, Dept. of Civil Infrastruct Engn, Surabaya, Indonesia. (Machsus M, 2021).

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Univ Anabr, Coll Engn, Departamento de Ingeniería de Represas y Recursos Hídricos, Ramadi, Iraq. (Al-Hadithi, AI, 2021).

Universidade Tecnológica Petronas UNiv Teknol PETRONAS, Dept Civil & Environment Engn, Seri Iskandar 32610, Perak, Malasia. (Khan, MI, 2021).

Amrita Vishwa Vidyapeetham Amrita Vishwa Vidyapeetham, Dept Civil Engn, Amrita Sch Engn, Coimbatore 641112, Tamil Nadu, India. (Mini, KM, 2021).

Universidade Omer Halis Demir Nigde Omer Halisdemir Univ, Architecture Fac, Dept Architecture, TR-51240 Nigde, Turquía. (Akcaozoglu, S, 2021)

ESSAT, Higher Sch Appl Sci, BP 165 RP, Tilimsen 13000, Argelia. (Benosman, AS, 2021)

Universidade de Nápoles Federico II Federico II Univ Naples, Dept Civil Construct & Environm Engn, Via Claudio 21, I-80125 Nápoles, Italia. (Russo, F, 2021)

Universidade Hasanuddin Hasanuddin Univ, Dept. Civil Engn, Makassar, Indonesia. (Irianto, 2021)

Universidade Técnica de Czestochowa Czestochowa Tech Univ, Fac Mech Engn & Comp Sci, Inst Mech Technol, PL-42201 Czestochowa, Polonia. (Gorak, P, 2021)

Arizona State University Arizona State University-Tempe Arizona State Univ, 660 S Coll Ave, Tempe, AZ 85287 USA. (Fini, EH, 2021)

Universidade Ned de Ingeniería y Tecnología NEDUET, Departamento de Ingeniería Civil, Univ Rd, Karachi 75270, Pakistán. (Ayub, T, 2021)

Universidade Tecnológica KN Toosi KN Toosi Univ Technol, Dept Civil Engn, Valiasr St, Teherán, Irán. (Tafreshi, SNM, 2021)

Universidade Tecnológica de Swinburne Swinburne Univ Technol, Dept Civil & Construct Engn, POB 218, Hawthorn, Vic 3122, Australia. (Horpibulsuk, S, 2020)

Universidade Islámica de Azad Universidade Islámica de Azad, Departamento de Ingeniería Civil, Rama de Rasht, Rasht, Irán. (Nikbin, IM, 2020)

Universidade Estadual Paulista Univ Estadual Paulista, Fac Engn Ilha Solteira, Dept Engn Civil, MAC Grp Research Mat Alternat Construcão, UNESP, Alameda Bahia 550, BR-15385000 Ilha Solteira, SP, Brasil. (Sposito, FA, 2020)

ANÁLISIS DEL TEREFTALATO DE POLIETILENO (PLÁSTICO PET)

Envaselia. S.L (2018). TEREFTALATO DE POLIETILENO. Obtenido de <https://www.envaselia.com/blog/tereftalato-de-poli-etileno-id12.htm>

Lenntech B.V. (1998-2021). Cloruro de Polivinilo (PVC). <https://www.lenntech.es/polyvinyl-chloride-pvc.htm>

Fanny Zapata, Lifeder (2021). Diagrama de Moody: ecuaciones, para qué sirve, aplicaciones. <https://www.lifeder.com/diagrama-moody/>

Guerreo O. (1995). Ecuación Modificada de Colebrook-White. Revista Ingeniería Hídrulica de Mexico.

Barr D. (1980). The transition from laminar to turbulent flow.

Mecánica de fluidos, Fundamentos y aplicaciones. Çengel-Cimbala. (2004)

Significados, Significado de Viscosidad. (2013-2021)

Significados, Significado de Viscosidad Dinámica y Cinemática. (2013-2021)

NTC-1500 CODIGO COLOMBIANO DE INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS
Tercera Actualización (2017-08-23)

ELEMENTOS DE DISEÑO PARA ACEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS, Ricardo Alfredo
López Cualla (1996)